



Joana Alves Barbosa

Valorização de Lamas Provenientes do Tratamento de Águas Residuais

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Sanitária

Orientador: Fernando José Pires Santana, Professor Doutor,
Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e
Tecnologia]

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Santana
Arguente: Prof. Doutora Maria da Conceição dos Santos
Vogal: Prof. Doutora Leonor Amaral



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

“Copyright” Joana Alves Barbosa, da FCT/UNL e da UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às pessoas que me ajudaram activamente na elaboração deste trabalho:

Ao meu orientador Professor Doutor Fernando Santana, pela orientação, simpatia e boa disposição e principalmente pelas eficientes reuniões de motivação.

Ao Engenheiro Sérgio Bastos, pela amizade e disponibilidade oferecida.

À Dra. Maria da Graça Serrão e à Dra. Hermínia Loureiro Bettencourt Reis da Costa Domingues, Estação Agronómica Nacional, pelo carinho com que receberam e pelo enorme ajuda e interesse demonstrado.

À Engenheira Paula Santana pela simpatia e disponibilidade com que me recebeu e pelo apoio prestado.

Ao Engenheiro João Pedro Rodrigues, Reciclamas, pela informação e documentação dada.

Ao Engenheiro António Rama, CIMPOR, por me ter amavelmente recebido e fornecido informação

Agradeço também a informação fornecida por:

Engenheiro Luís Pico Adão, Professora Doutora Leonor Amaral, Engenheira Isabel Mota da Agroambientais, Engenheiro João Tito Nunes da Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, Sofia Mota Direcção de Comunicação, Imagem e Documentação, ValorSul, Professor Doutor João António Labrincha Batista, Sílvia Peixoto, AMARSUL, S.A., Engenheira Florbela Preto, Engenheira Renata Baião

Agradeço ainda:

Aos meus grandes amigos, em particular Filipa Fernandes, Helder Rodrigues, Rita Matos e Patrícia Matias, pelos momentos de descontração, motivação e divertimento passados.

À equipa de Direcção da FCT-UNL, Elizabete Carreira, Celma Padamo, Sónia Ferreira.

Ao meu tio e padrinho Rui Barbosa pelo apoio.

Aos meus Pais por tudo.

Resumo

Esta dissertação teve como tema central a valorização de lamas produzidas em Estações de Tratamento de Águas Residuais, tendo sido analisado em particular o caso nacional.

Os objectivos definidos contemplaram a problemática da gestão de lamas no país, abordando as diversas soluções de destino final. Neste sentido, foi feita uma análise da produção de lamas em Portugal para o ano de 2002, tendo-se obtido um valor de cerca de 300 000 toneladas de lamas, e avaliada a respectiva distribuição por regiões nomeadamente: Entre Douro e Minho, Trás-os-Montes, Beira Litoral, Beira Interior, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve.

Foi efectuada uma revisão bibliográfica sobre as diferentes soluções de destino final adaptadas às características do país, estabelecendo-se sempre que possível uma comparação com o que é praticado noutros países

Tendo em vista a optimização da gestão de lamas em Portugal, discutiram-se várias soluções a nível regional, no que concerne aos processos de tratamento mais adequados ao destino final, bem como todos os que lhes estão a jusante, a sustentabilidade da valorização agrícola e ainda o papel das entidades responsáveis pela gestão de lamas. Finalmente, discutiram-se alguns aspectos tecno-económicos, da gestão de lamas, por comparação de custos dos diferentes tipos de destino final atendendo a todas às condicionantes que lhe estão associadas.

As conclusões deste trabalho apontam para um défice de gestão do resíduo lamas, susceptível de ser minimizado pela criação de uma entidade com competências reguladoras. Adicionalmente, sugere-se em alternativa à valorização agrícola de lamas, a opção por processos de oxidação térmica que têm como principais vantagens a redução de volume e a obtenção de um resíduo higienizado apto a valorização.

Termos chave: Lamas, Valorização, Agricultura, Águas Residuais

Abstract

The present thesis seeks to analyze the wastewater sludge valorization in the Portuguese context.

In relation to its goals, this study seeks to explore the sludge management problem, looking for the different solutions of the sludge's end-of-life.

It was observed that, in 2002, the sludge production were nearly 300 000 tons. Also, one has analyzed the geographical distribution of the sludge production in that year, namely in: Entre Douro e Minho, Trás-os-Montes, Beira Litoral, Beira Interior, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo and Algarve regions.

It was performed a literature review on the different solutions adapted to the final destination of the sludge valorization, settling wherever possible a parallel with what is practiced in other countries.

In order to optimize the management of sludge in Portugal, several solutions were discussed at the regional level, as regards the treatment processes best suited to the final destination, and all that they are downstream, the sustainability of agricultural valorization and yet the role of entities responsible for sludge management. Finally, it was discussed a few techno-economic aspects of sludge management, by comparing costs of different types of final destination given all the constraints associated with it.

The conclusions of this study point to a lack of management of waste sludge, which can be minimized by creating an entity with regulatory responsibilities. Additionally, it is suggested as an alternative to sludge valorization in agriculture, the choice of thermal oxidation processes that have as main advantages the volume reduction and obtaining a residue sanitized able to recovery.

Keywords: Sludge, Valorization, Agriculture, Wastewater

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Tratamento de Águas Residuais Urbanas	1
1.2.	Propriedades das lamas	4
1.3.	Tratamento de lamas.....	6
1.3.1.	Espessamento.....	6
1.3.2.	Estabilização	7
1.3.3.	Condicionamento	8
1.3.4.	Desidratação	10
1.4.	Valorização Agrícola de Lamas de ETAR Urbanas e Mistas	13
1.4.1.	Condicionantes da aplicação de lamas de ETAR no solo.....	16
1.5.	Deposição de lamas urbanas em aterro sanitário	22
1.6.	Valorização Térmica.....	24
1.6.1.	Incineração	24
1.6.2.	Reutilização das cinzas provenientes da incineração de lamas de ETAR	26
1.6.3.	Oxidação por Via Húmida	26
1.6.4.	Utilização de lamas como matéria-prima em Cimenteiras no contexto Nacional	27
1.6.5.	Utilização de lamas como combustível.....	29
1.7.	Problemática da gestão das lamas oriundas do tratamento de águas residuais urbanas em Portugal.....	30
2.	Objectivo	37
3.	Plano de Trabalho	39
4.	Metodologia e Pressupostos adoptados.....	41
4.1	Quantificação da Produção de Lamas	41
4.2	Quantificação da Superfície Agrícola Utilizada apta à aplicação de lamas	42
5.	Resultados	45
6.	Discussão	49
7.	Conclusões	53
8.	Perspectiva de Trabalho Futuro	55
9.	Referências Bibliográficas	57
9.1.	Referências de Internet:.....	61

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Processos que viabilizam a eliminação e valorização de lamas de ETAR. (Adaptado de Farinha, J., 2002)	11
Figura 1.2 – Proporção de ETAR de Portugal Continental geridas pelas principais entidades gestoras. (Adaptado do INSAAR.	13
Figura 1.3 - Potenciais utilizadores de CDR em Portugal. (Dias, S.M. et al., 2006)	29
Figura 1.4 - Solução mista para o controlo da contaminação microbiológica. (Carvalho, M., 2007) ..	32
Figura 3.1 - Fluxograma de planificação de trabalho.	39
Figura 5.1 - Distribuição da produção de lamas, no ano de 2002, de Portugal Continental.	45
Figura 6.1 - Viabilidade da valorização agrícola de lamas em Portugal. (Adaptado de Carvalho, M., 2007)	50
Figura 6.2 - Localização das instalações capazes de incorporar CDR. (Dias, S.M. et al., 2006)	52

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Requisitos impostos pelo Decreto-Lei nº 152/97, para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas.	2
Tabela 1.2 - Requisitos impostos pelo Decreto-Lei nº 152/97, para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização.	3
Tabela 1.3 – Contaminantes Orgânicos comuns presentes nas lamas de ETAR e suas origens (Carvalho, 2002).	5
Tabela 1.4 – Comparação de custos de tratamentos de lamas de ETAR. (Odegaard, H., et al.).....	12
Tabela 1.5 - Valores limite de concentração de Metais Pesados nas lamas destinadas à agricultura.	18
Tabela 1.6 – Valores limite para as quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos cultivados, com base numa média de 10 anos.....	19
Tabela 1.7 – Valores limite de concentração de metais pesados nos solos.	19
Tabela 1.8 – Valores Limite de concentração de compostos orgânicos e dioxinas nas lamas destinadas à agricultura, produzidas em estações de tratamento de águas residuais urbanas que recebam águas residuais de outras origens para além da doméstica.	20
Tabela 1.9 - Especificações de aceitação de resíduos da empresa CIMPOR.	28
Tabela 1.10 - “The Safe Sludge Matrix”. (Adaptado de UnitedWater, 2007).....	33
Tabela 4.1 - Universo de ETAR em Portugal, no ano de 2002, considerado para a quantificação da produção de lamas.	41
Tabela 4.2 – Captações adoptadas dos vários graus de tratamento de águas residuais. ((Metcalf & Eddy, 2003).....	42
Tabela 4.3 – Definição dos tipos de culturas que compõem a SAU. (Adaptado de IEEA 2005).....	43
Tabela 4.4 – Composição da SAU por Região (unidade ha). (Adaptado de IEEA 2005).....	43
Tabela 4.5 – Culturas cuja aplicação de lamas não é permitida (ha). (Adaptado de IEEA 2005).....	44
Tabela 5.1 – Distribuição da produção de lamas, no ano de 2002, de Portugal Continental. (Adaptado do INSAAR)	46
Tabela 5.2 – Rácio entre área apta à aplicação de lamas (ha) de cada região e as lamas produzidas.	47

1. Introdução

Principalmente no século passado, verificou-se um desenvolvimento desenfreado com consequências muito significativas para os ecossistemas, situação apenas minorada pelo aumento de consciencialização ecológica que forçou a consideração de análises de sustentabilidade dos recursos utilizados.

Contudo, o esgotamento de recursos naturais é cada vez mais uma realidade e por isso a humanidade deve unir esforços para criar estratégias que promovam o desenvolvimento sustentável, em que exista uma compatibilização das infra-estruturas e actividades humanas com o ambiente e os processos naturais, por forma a não exceder os limites da capacidade de regeneração dos recursos naturais e a não exceder a carga do meio, tornando possível satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades. (FRAGA, H. et al., 2008)

As lamas provenientes do tratamento de águas residuais constituem um resíduo como qualquer outro. Como tal, a sua gestão deve ser optimizada ao máximo para que menos recursos sejam consumidos com a sua valorização e que os seus potenciais impactes sejam minimizados.

1.1. Tratamento de Águas Residuais Urbanas

A água residual urbana resulta da combinação de efluentes oriundos de núcleos residenciais, estabelecimentos comerciais e industriais, e águas superficiais, subterrâneas e pluviais.

A descarga directa de uma água residual urbana num meio hídrico receptor comporta elevados riscos, uma vez que possui um elevado teor em matéria orgânica, que ao decompor-se consumirá oxigénio, reduzindo a quantidade disponível para a fauna e flora nele existentes, para além de incrementar emissões gasosas com impactes nas zonas envolventes.

Estão também presentes nas águas residuais, microrganismos patogénicos como *Coliformes Fecais*, *Streptococos Fecais* e *Escherichia Coli*, apresentando risco não só para os animais como para os seres humanos.

Também compostos tóxicos, nomeadamente metais pesados, constituem um risco para o meio receptor, bem como a presença de nutrientes, nomeadamente fósforo e azoto, que influenciam ativamente os ecossistemas aquáticos.

Pelo exposto, verifica-se a necessidade da existência de sistemas de tratamento de águas residuais urbanas, com o objectivo de proteger os meios receptores, conforme o determinado pelas normas decorrentes de legislação dirigidas para o efeito.

Assim, o Decreto-Lei nº 152/97, de 19 de Junho, estabelece requisitos de descarga de acordo com a sensibilidade do meio receptor, estipulando que o respectivo licenciamento fique condicionado à existência de tratamento adequado.

Consoante a sustentabilidade do meio receptor assim é determinado o tipo de tratamento, podendo implicar a remoção de nutriente, designadamente azoto.

O tratamento das águas residuais urbanas é efectuado em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), composto por várias operações e processos unitários.

À entrada da estação dispõe-se de gradagem, onde são removidos os sólidos mais grosseiros, de modo a proteger todos os órgãos, tubagens e equipamento a jusante. Seguidamente, utiliza-se um processo de desarenação/desengorduramento, para remoção de areias e gorduras existentes no afluente à estação. Segue-se uma decantação primária (tratamento primário), onde ocorre a remoção dos sólidos facilmente sedimentáveis e algum material flutuante. Em circunstâncias de operacionalidade eficiente, esta operação possibilita a remoção de 50 a 70% de sólidos suspensos e 25 a 40% de CBO₅, indicador de matéria orgânica. (Metcalf & Eddy, 2003)

O tratamento biológico (tratamento secundário) das águas residuais urbanas materializa-se por processos como Lamas Activadas ou Leitos Percoladores, entre outros, que permitem a oxidação de constituintes biodegradáveis dissolvidos e em suspensão, transformando-os em produtos estáveis, de baixa energia. Os sólidos coloidais e em suspensão são capturados e incorporados em flocos biológicos (Metcalf & Eddy, 2003).

A decantação secundária é a etapa final da linha de tratamento da fase líquida. Tem como objectivo a produção de um decantado com baixos teores em CBO₅ e Sólidos Suspensos Totais (SST), estabelecidos na legislação vigente (tabela 1.1), bem como a concentração de lamas separadas. As eficiências de remoção são semelhantes às da decantação primária (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabela 1.1 – Requisitos impostos pelo Decreto-Lei nº 152/97, para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas.

Parâmetros	Concentrações	Percentagem mínima de redução (%)
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅ a 20°C) sem nitrificação	25 mg/L O ₂	70-90
Carência Química de Oxigénio (CQO)	125 mg/L O ₂	75
Total de partículas em suspensão	35 mg/L (e.p. superior a 10 000) 60 mg/L (e.p. de 2000 a 10 000)	90 (e.p. superior a 10 000) 70 (e.p. de 2 000 a 10 000)

O tratamento secundário pode ser complementado por uma etapa de tratamento terciário, a qual se destina à remoção de nutrientes, nomeadamente azoto e fósforo, desinfecção, ou mesmo separação de matéria em suspensão.

O Decreto-Lei anteriormente referido, estabelece requisitos mais rigorosos para descargas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização (tabela 1.2), impondo remoção de azoto e fósforo.

Tabela 1.2 - Requisitos impostos pelo Decreto-Lei nº 152/97, para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização.

Parâmetros	Concentrações	Percentagem mínima de redução (%)
Fósforo Total	2 mg/L P (10 000 – 100 000 e.p.) 1 mg/L P (mais de 100 000 e.p.)	80
Azoto Total	15 mg/L N (10 000 – 100 000 e.p.) 10 mg/L N (mais de 100 000 e.p.)	70 - 80

A eliminação de azoto da água residual, normalmente nitrificada, baseia-se em processos biológicos que, através de reactores de biomassa em suspensão ou fixa, incorporam a oxidação do azoto amoniacal a nitrato (nitrificação) e a redução deste a azoto gasoso (desnitrificação).

A nitrificação biológica é um processo estritamente aeróbio, pelo qual o azoto orgânico (N), existente nas águas residuais é hidrolizado pela actividade biológica, com libertação de azoto amoniacal (NH_4^+) que, por sua vez, é oxidado a nitrito (NO_2^-), e rapidamente a nitrato (NO_3^-). Este processo poderá ser considerada uma etapa suficiente, pelo facto de evitar o consumo de oxigénio no meio receptor e limitar a toxicidade pela amónia. (Mano, 2006)

A desnitrificação biológica envolve a redução das formas oxidadas de azoto, a azoto molecular, composto relativamente indisponível ao crescimento biológico. Este processo faz-se pela acção de bactérias, em condições de anoxia, como a seguir se indica: (Mano, 2006)



As três últimas formas inorgânicas podem ser libertadas para a atmosfera, sendo o azoto gasoso o que gera impactes ambientais menos significativos.

A redução microbiológica de nitrato pode também ser assimilativa, sendo reduzido a azoto amoniacal na quantidade indispensável ao crescimento celular, e incorporado na biomassa celular removida juntamente com os sólidos em suspensão. A redução ocorre quando o nitrato é a única forma de azoto disponível, pelo que, a presença no meio de azoto orgânico ou amoniacal constitui a principal forma de regulação do processo (Mano, 2006).

No que se refere à remoção de fósforo, esta é feita, sobretudo na gama média/alta de caudais, através de processos biológicos de biomassa em suspensão, por incorporação na biomassa celular (Mano, 2006).

Aqueles processos compreendem uma zona anaeróbia seguida por uma zona aeróbia. A alternância de condições permite a selecção de uma população capaz de acumular fósforo em quantidade muito superior às necessidades e, conseqüentemente, a remoção de maior parte do fósforo existente nas águas residuais.

Complementarmente, ou em substituição, o fósforo pode ser removido por via química, na gama baixa de caudais, recorrendo-se em geral à precipitação química. Este processo envolve a adição de sais metálicos de Ferro (e.g. FeCl_3) ou de Alumínio (e.g. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), ou cal (Mano, 2006). Formam-se precipitados insolúveis que são removidos em conjunto com as lamas.

A selecção do reagente passa pela avaliação de custos associados, quantidade necessária a adicionar e quantidade de lamas geradas.

O tratamento das águas residuais urbanas tem como consequência a produção de um resíduo semi-sólido designado por lamas.

1.2. Propriedades das lamas

A composição das lamas de ETAR varia consoante a composição das águas residuais, bem como com o tipo de tratamento a que são sujeitas. Este resíduo tem na sua composição material orgânico e inorgânico, nutrientes, microrganismos, metais pesados e alguns contaminantes.

- Matéria Orgânica

Os materiais orgânicos das lamas são essencialmente constituídos por hidrocarbonetos, aminoácidos, proteínas, lípidos, e uma pequena fracção correspondente a lenhina ou celulose. Provêm, entre outros produtos, de matéria fecal, cabelos, fibras celulares, resíduos de alimentos e produtos de higiene, óleos e gorduras.

- Nutrientes

Podem identificar-se na constituição das lamas macronutrientes como azoto (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ou enxofre (S), e ainda alguns micronutrientes como o boro (B), cobalto (Co), ferro (Fe), manganésio (Mn) e molibdénio (Mo). As concentrações de nutrientes variam significativamente com o tipo de tratamento das águas residuais, e com o tratamento da própria lama (Carvalho, 2002).

É possível encontrar nas lamas azoto sob formas inorgânicas, nomeadamente amónia (NH_3) e nitrato (NO_3), e formas orgânicas, associadas em grande parte à matéria sólida.

O fósforo presente encontra-se na sua forma mineral, podendo representar 30 a 80% do fósforo total.

A concentração de ambos depende essencialmente do tipo de tratamento e manuseamento que a lama sofre (Carvalho, 2002), bem como da sua solubilidade. Nutrientes como cálcio, magnésio ou ferro associam-se, tal como o azoto, aos sólidos das lamas formando compostos insolúveis, o que torna as suas concentrações, relativamente elevadas (Carvalho, 2002). Pelo contrário, o potássio e o sódio são exemplos de nutrientes solúveis em água. Caso não seja efectuado tratamento terciário, estes permanecem no efluente líquido descarregado, e por consequência as suas concentrações nas lamas não são significativas.

- Microrganismos Patogénicos

As lamas provenientes de ETAR são ricas em microrganismos, parte deles patogénicos, representando um risco para a saúde pública e animais. Destacam-se entre outros bactérias, vírus, fungos, protozoários e alguns vermes.

Estes microrganismos, como qualquer ser vivo, têm capacidade de sobrevivência a várias condições, apresentando tolerâncias distintas, o que dificulta a sua remoção (Carvalho, 2002).

- Metais Pesados

As lamas de ETAR, em termos de orgânicos apresentam na sua constituição componentes húmicos (Omoike e Vanloon, 1999). Este tipo de matéria orgânica confere às lamas elevada capacidade de retenção de água e de troca iónica, sendo responsável pela retenção de metais pesados. (Stoveland e Lester, 1980).

Os principais metais pesados presentes nas lamas, a ter em conta devido ao seu potencial risco, são: cádmio (Cd), crómio (Cr), chumbo (Pb), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn), principalmente provenientes de efluentes domésticos, escorrências de ruas e indústria (Carvalho, 2002).

- Contaminantes Orgânicos

Alguns poluentes orgânicos podem ser detectados em lamas de ETAR. Na seguinte tabela 1.3 apresentam-se os poluentes orgânicos mais comuns e a sua origem.

Tabela 1.3 – Contaminantes Orgânicos comuns presentes nas lamas de ETAR e suas origens (Carvalho, 2002).

Contaminante	Proveniência
PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos)	Combustão incompleta ou pirólise de substâncias orgânica; Incêndios domésticos, instalações de produção de energia e calor, tráfego rodoviário, incineração de resíduos e instalações industriais.
PCB (bifenóis policlorados)	Pesticidas, sistemas de refrigeração, lubrificantes e materiais sintéticos.
DEHP (<i>Di(2-ethylhexyl)phthalate</i>)	Usados como emolientes em materiais sintéticos.
LAS (alquilbenzenos sulfonatos lineares)	Detergentes biodegradáveis.
AOX (compostos orgânicos halogenados)	Uso de cloro.
PCDD (dioxinas) e PCDF (furanos)	Combustão, incineração de resíduos e processamento de metais e branqueamento da pasta de papel com cloro livre;

Durante o tratamento de águas residuais urbanas muitos destes compostos, principalmente compostos hidrofóbicos/lipofílicos, são transferidos para as lamas, onde ocorrem em maiores concentrações do que no efluente líquido de que derivam (Rogers, 1996). Outros podem passar pela linha de tratamento de águas residuais completamente inalterados (Daughton e Ternes 1999, Metcalfe et al. 2003).

- Matéria Inorgânica

Em relação à constituição inorgânica das lamas, destacam-se os fragmentos metálicos resultantes da erosão de tubagens, poeiras urbanas e industriais, bem como partículas de solos e areia. Estão presentes ainda componentes provenientes de reagentes usados para o condicionamento das águas residuais e das próprias lamas (óxidos, hidróxidos, sulfatos, sulfuretos, fosfatos e silicatos) (Lopes, 2002).

Resumindo, as lamas resultantes do processo de tratamento da fase líquida de águas residuais urbanas contêm, normalmente, constituintes indesejáveis e perigosos, possuem odores desagradáveis e têm um elevado teor de humidade.

Para que o armazenamento, transporte e destino final sejam técnica e economicamente viáveis, as lamas devem ser alvo de tratamento adequado para o melhoramento das suas características físicas, químicas e biológicas.

Para fazer face a estes problemas, as ETAR, principalmente de média e grande dimensão, dispõem de equipamento que compõe a linha de tratamento das lamas, cuja concepção varia em função das tecnologias seleccionadas.

1.3. Tratamento de lamas

O tratamento de lamas deve traduzir-se pela obtenção de um produto com potencial de valorização, de um modo geral baseado em três processos, nomeadamente: espessamento, estabilização e desidratação.

1.3.1. Espessamento

O espessamento é a operação responsável pelo aumento da concentração de sólidos e consequente diminuição de volume das lamas provenientes dos decantadores, removendo uma porção da fracção líquida das mesmas (Metcalf & Eddy, 2003).

O seu principal objectivo é proporcionar às lamas uma estrutura física que possibilite que processos posteriores de tratamento, condicionamento, armazenamento, transporte e destino final, sejam efectuados com menores custos associados. Quanto menor for o volume de lamas, menor será a capacidade de órgãos e equipamento para o seu tratamento, a quantidade de reagentes para o seu condicionamento, a energia requerida para processos de digestão, os volumes de armazenamento e transporte, bem como a quantidade de combustível necessário à sua secagem térmica ou incineração (Carvalho, 2002).

A concentração de sólidos é altamente influenciada pelas propriedades físicas e químicas das lamas. Assim, lamas primárias e lamas secundárias biológicas, apresentarão diferentes capacidades de sedimentação, o que possibilita que os processos de espessamento sejam também distintos (Carvalho, 2002).

O espessamento é um processo físico, efectuado em espessadores dedicados (gravíticos ou flotadores), ou em outros órgãos não destinados especificamente para este efeito. Estes órgãos têm como principal característica, tempos de retenção elevados, favoráveis à deposição de sólidos, como é o caso de digestores ou lagoas (Carvalho, 2002).

- Espessamento Gravítico

O espessamento gravítico é, tipicamente, efectuado em tanques de betão, onde os sólidos mais densos são acumulados no fundo, formando um concentrado com cerca de 5% de sólidos (U.S.

EPA, 1979). No topo do órgão é descarregado um sobrenadante que volta a ser inserido na linha de tratamento da fase líquida.

Este tipo de espessamento é normalmente usado em lamas primárias, que apresentam na sua constituição, sólidos mais densos, ao contrário das lamas secundárias. Para estas últimas, o espessamento gravítico torna-se um processo menos eficiente, à excepção dos casos em que são misturadas com lamas primárias. As lamas primárias melhoram a sedimentabilidade das secundárias, tornando este processo mais eficaz.

- Flotação por ar dissolvido

No caso de lamas secundárias serem espessadas separadamente, o processo indicado é a flotação por ar dissolvido.

Neste processo, a separação de sólidos da fase líquida faz-se através da injeção de bolhas finas de gás, normalmente ar, no seio do líquido. As bolhas, por aderência, ou adsorção, elevam as partículas sólidas à superfície, sendo recolhidas por uma ponte raspadora.

Quanto mais baixa for a densidade das partículas sólidas, maior a probabilidade de flutuarem. A injeção de ar permite aumentar a capacidade de flotação das partículas, mesmo a daquelas com densidade superior à água, desde que o agregado ar-partícula tenha uma densidade inferior. O sistema de flotação pode, assim, ser controlado pela dimensão da bolha. (WPCF, 1980)

1.3.2. Estabilização

As lamas são estabilizadas por via biológica, em condições aeróbias ou anaeróbias, ou por via química (Antas et al., 2002).

A estabilização por via aeróbia realiza-se, fundamentalmente, através de arejamento prolongado, geralmente entre 2 a 7 semanas, com o intuito de criar condições favoráveis ao desenvolvimento e actuação de microrganismos aeróbios que decompõem a fracção facilmente biodegradável da matéria orgânica.

Na estabilização por via anaeróbia, utilizada principalmente em estações de média e grande dimensão, a decomposição da fracção facilmente biodegradável da matéria orgânica contida nas lamas realiza-se, na ausência de oxigénio, em digestores. Aí criam-se condições para a actuação de microrganismos anaeróbios, mantendo-se as lamas, durante sensivelmente duas semanas, a cerca de 35°C. A produção de metano, consequência deste processo, possibilita a valorização energética.

O teor de matéria orgânica poderá reduzir-se de 35% ou 50% durante o tratamento aeróbio e anaeróbio, respectivamente (Gonçalves, 2005).

Do tratamento por estabilização química resulta a inactivação temporária dos microrganismos existentes nas lamas, permitindo a redução de maus odores. O aumento de pH da lama, originado pela adição de reagentes, nomeadamente hidróxido de cálcio, possibilita a inibição do metabolismo microbiano.

Com a permanência de valores de pH superiores a 12 durante, pelo menos 24 horas, é geralmente possível alcançar a higienização da lama, a qual é cada vez mais usada para que as lamas tratadas cumpram os requisitos normalmente impostos para a sua valorização/eliminação.

Das operações que asseguram desinfecção ou higienização das lamas, referem-se as seguintes:

- Pasteurização, que consiste na submissão de lamas a temperaturas da ordem dos 70° C, durante 30 minutos, seguindo-se o tratamento por digestão anaeróbia a 35° C, durante 12 dias;
- Tratamento biológico termófilo aeróbio ou anaeróbio, à temperatura mínima de 55° C ou 53° C, respectivamente, durante 20 horas;
- Incorporação de hidróxido de cálcio de forma a atingirem-se valores de pH superiores a 12, mantendo as lamas à temperatura mínima de 55° C, durante duas horas ou mantendo-as a valores de pH superiores a 12 durante três meses, independentemente das temperaturas;
- Compostagem, processo que, pela acção de microrganismos mesófilos e termófilos, cujos níveis de desenvolvimento ocorrem a temperaturas entre 15°C e 45 °C ou 45 °C e 60 °C, respectivamente, permite a decomposição de matéria orgânica; são criadas também condições para a inactivação dos microrganismos patogénicos e parasitas, sensíveis à elevação da temperatura (Gonçalves, 2005). Permite a decomposição biológica de materiais orgânicos em condições aeróbias. Este procedimento permite que o produto se torne reutilizável não só na agricultura mas noutros fins, de consistência favorável e mais fácil de manusear (inodoro e seco). (Carvalho, M., 2007)

1.3.3. Condicionamento

O objectivo principal do condicionamento de lamas é o favorecimento do processo de desidratação. Contudo, este permite ainda a alteração física, recuperação e desinfecção dos sólidos e o controlo de odores.

Efectua-se através de processos físicos, fundamentalmente térmicos, ou químicos, pela adição de reagentes inorgânicos, como por exemplo cloreto férrico (FeCl_3) ou cal (Ca(OH)_2) e/ou polímeros orgânicos, normalmente catiónicos (Mano, 2005).

- Condicionamento Térmico

Este processo permite, além do condicionamento, a estabilização. Pela acção do calor, os sólidos são coagulados, o peso volúmico aumenta e a afinidade com a água é reduzida, sendo a estrutura do gel resultante alterada irreversivelmente. A faixa de temperatura a que é efectuado o processo varia entre 150 e 200°C., durante 30 a 60 minutos sob pressão, e é tanto mais eficiente quanto maior for o teor de matéria orgânica e coloidal.

Desta técnica resulta uma lama esterilizada e praticamente sem cheiro, facilmente desidratada em filtros prensa ou filtros de vácuo, podendo-se obter siccidade de 40 a 50% sem adição de reagentes.

Este tipo de condicionamento é recomendado para lamas biológicas ou estabilizadas por via química. A matéria orgânica é solubilizada de 20 a 40%, dependendo do tempo de aquecimento e

temperatura. Forma-se assim uma fase líquida intersticial e verifica-se a precipitação simultânea de parte das substâncias em solução, com excepção dos metais pesados, bem como a amonificação do azoto orgânico presente.

O aquecimento da lama é normalmente efectuado num reaktor próprio para o efeito, que assegura o tempo de aquecimento mínimo a uma temperatura controlada, procurando-se evitar perdas, para que seja evitado o consumo de energia gasto para aquecimento externo, normalmente entre 25 e 40°C. (Mano, 2005)

- Condicionamento químico

Associado principalmente a processos de desidratação mecânica, este tipo de condicionamento efectua-se pela adição de reagentes inorgânicos ou polímeros orgânicos catiónicos.

Os principais reagentes inorgânicos utilizados são o cloreto férrico e a cal, devido principalmente ao seu baixo custo.

O cloreto férrico, utilizado sobretudo em lamas orgânicas provenientes de tratamentos biológicos, tem uma acção dupla (Mano, 2005):

- Coagulação, hidroliza na água formando complexos de ferro solúveis com carga positiva, normalmente oposta à das partículas presentes na lama que é negativa.
- Floculação, com a formação de compostos de hidróxidos hidratados $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6 \cdot (\text{OH})_3]_n$, que funcionam como polímeros.

Seguida ou conjuntamente é adicionada cal, processo que influencia as propriedades das lamas do seguinte modo (Mano, 2005):

- aumento do pH para valores superiores a 10 (pH óptimo para a floculação);
- redução da quantidade de água intersticial com a consequente produção de uma lama mais seca e mais consistente;
- precipitação dos sais de cálcio (orgânicos e inorgânicos), criando uma estrutura granular com maior porosidade, reduzindo a compressibilidade das lamas;
- desestabilização da estrutura coloidal pela adição suplementar de um aditivo inorgânico denso.

O doseamento dos reagentes é feito consoante a natureza das lamas e o rendimento pretendido. A gestão da dose óptima deve ter em conta uma concentração mínima que prepare a lama para a desidratação, evitando o uso excessivo de reagente, o que aumenta significativamente o volume de material a desidratar.

Os polímeros são usados no condicionamento devido ao seu fácil manuseamento e armazenamento. Além disso, estes não aumentam significativamente o volume de sólidos nas lamas uma vez que são usadas baixas doses e concentrações (Carvalho, 2002).

O polímero mais usado é o polielectrólito, composto por moléculas de cadeia longa, o que permite a formação de flocos bem definidos e volumosos, pelo estabelecimento de pontes entre as partículas. (Mano, 2005).

1.3.4. Desidratação

A desidratação finaliza a linha de tratamento convencional de lamas. O seu objectivo, à semelhança da operação de espessamento, é reduzir o teor de humidade, favorecendo as operações de armazenamento e transporte.

O processo de desidratação de lamas pode ser natural ou mecânico. As técnicas naturais são extremamente simples, envolvendo a evaporação natural e percolação, feita através de leitos de secagem ou lagoas de lamas. Os processos mecânicos recorrem a equipamentos para remover mais rapidamente a água presente na lama, bem como ao condicionamento a montante. Dependendo do tipo de lama, e das características pretendidas do produto desidratado, é seleccionado o processo de desidratação mecânica (Carvalho, 2002)

Os equipamentos mecânicos mais usados para a desidratação, por ETAR, são as centrífugas, filtros banda e filtros prensa (Mano, 2005)

Posteriormente ao seu tratamento, as lamas são armazenadas normalmente em silos ou contentores, onde permanecem até serem transportadas a destino final.

No contexto actual, nota-se cada vez mais a necessidade de adoptar etapas complementares ao tratamento de lamas convencional (Figura 1.1). Este deve garantir a produção de um produto armazenável sem odor, de granulometria homogénea, higienização e de composição benéfica não só para a valorização agrícola, no que se refere a nutrientes essenciais como azoto (N), fósforo (P) e potássio (K), mas também para a valorização energética e processos de eliminação. Este tratamento é necessário para que qualquer que seja o processo de valorização ou eliminação seja viável quer ambiental como economicamente.

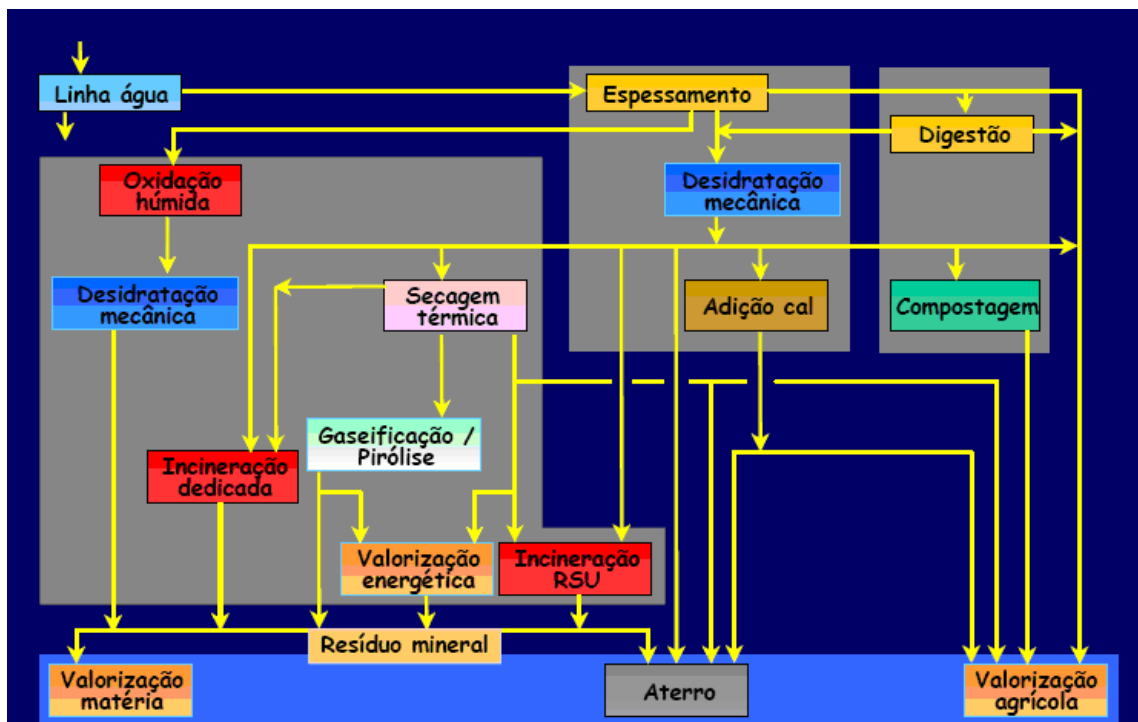


Figura 1.1 - Processos que viabilizam a eliminação e valorização de lamas de ETAR. (Adaptado de Farinha, J., 2002)

A Secagem Térmica é aplicada sempre que os meios mecânicos convencionais de desidratação de lamas não permitem conferir às lamas a sicidade pretendida para que os processos de transporte, armazenamento, valorização e eliminação não sejam prejudicados.

Considerando que as lamas residuais urbanas possuem uma sicidade (teor de matéria seca) compreendida entre 15 e 35%, consoante o tipo de efluentes, tratamento aplicado e tecnologia de desidratação, estima-se que uma tonelada de lamas pode conter 650 a 850 kg de água. Tendo em conta que os custos de qualquer operação a jusante são directamente dependentes da quantidade em massa, é notória a necessidade de complementar os meios mecânicos convencionais de desidratação. (Farinha, J., 2002)

No que se refere à valorização agrícola:

- A estrutura da lama seca (em granulado) permite a utilização de material de espalhamento clássico;
- A estabilização da lama seca evita problemas associados ao odor;
- A higienização da lama é possível desde que a temperatura e o tempo de permanência aplicados nos secadores sejam suficientes;
- A lama seca é de fácil armazenamento e manuseamento, sendo assimilável com os adubos clássicos.

Em relação à incineração ou gaseificação:

- Na incineração dedicada, a secagem térmica prévia permite atingir as condições de auto-termicidade;

- Na incineração combinada com resíduos urbanos, a lamas secas com PCI (poder calorífico inferior) equivalente aos resíduos constituirão um “aditivo” energético.

- Na gaseificação, o balanço térmico exige uma alimentação de lamas secas.

Para a deposição em aterro sanitário:

- Lamas com maior sicidade e, conseqüentemente, menores quantidades para a deposição.

Na maioria das situações a diminuição dos custos de exploração compensa e justifica o investimento na instalação de secagem de lamas.

A experiência adquirida ao longo dos anos mostra que a concepção e exploração de unidade de secagem de lamas dependem de um “know-how” específico. A escolha do tipo de secador e dos diferentes equipamentos que compõem a instalação, requer ponderação conforme as características das lamas a tratar, as limitações específicas de cada projecto e as exigências associadas ao destino do produto seco. Esta tarefa deverá ser conduzida por profissionais qualificados conhecedores não só das tecnologias de secagem instaladas mas também das características das lamas e conseqüentemente dos tratamentos de água necessários, bem como do contexto dos diferentes destinos finais. (Farinha, J., 2002)

À semelhança do processo anterior, a Compostagem das lamas permite atingir objectivos como a eliminação de organismos patogénicos, estabilização, secagem e produção de um produto estável, que pode se manuseado e comercializado.

Destaca-se contudo neste processo a vantagem do baixo consumo energético, quando comparada com outros sistemas de tratamento. (Castanheira, E. et al., 2004)

Segundo o estudo de sustentabilidade efectuado com o intuito de comparar as alternativas de destino final de lamas para uma ETAR com uma produção de lama de 3 730 toneladas de matéria seca por ano (Odegaard, H., et al.), constata-se que os custos associados aos diferentes tipos de tratamento complementar não divergem significativamente (tabela 1.4).

Tabela 1.4 – Comparação de custos de tratamentos de lamas de ETAR. (Odegaard, H., et al.)

Processos	Custo Anual €/ton (m.s.)*
Compostagem	281 481
Digestão Anaeróbia + Secagem Térmica	253 086
Calagem das Lamas Desidratadas	243 210
Pré-Pasteurização + Digestão Anaeróbio	216 049

* Soma do custo investimento (com uma taxa de 7% e depreciação média temporal de 20 anos) e o custo de operação e manutenção.

A gestão de resíduos como as lamas de ETAR, segundo o Decreto-Lei nº 239/97, é responsabilidade do produtor, visando preferencialmente a prevenção ou redução da produção ou nocividade dos resíduos, nomeadamente através da reutilização e da alteração dos processos produtivos, por via de tecnologias limpas, bem como da sensibilização dos agentes económicos e dos consumidores. Deve assegurar ainda a sua valorização, através de reciclagem, ou a sua eliminação adequada.

As Câmaras Municipais, Serviços Municipalizados de Água e Saneamento (SMAS) e o grupo Águas de Portugal, são as entidades que gerem a maioria das ETAR de Portugal (Figura 1.2), sendo responsáveis pela gestão de grande parte das lamas produzidas no processo de tratamento de águas residuais.

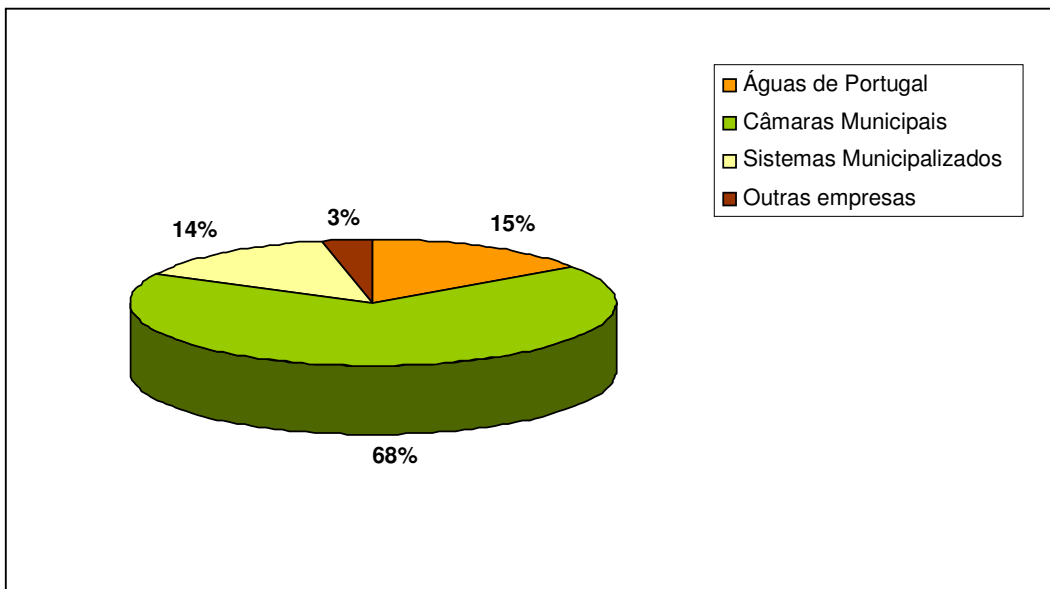


Figura 1.2 – Proporção de ETAR de Portugal Continental geridas pelas principais entidades gestoras. (Adaptado do INSAAR.

As lamas provenientes do tratamento de águas residuais urbanas constam na Lista Europeia de Resíduos (LER), conforme a Portaria nº 209/2004, com o código 19 08 05. Insere-se assim no capítulo dos resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial.

1.4. Valorização Agrícola de Lamas de ETAR Urbanas e Mistas

Segundo o Relatório da Comissão ao Conselho e Parlamento Europeu sobre a aplicação da legislação comunitária relativa aos resíduos, nomeadamente à Directiva 86/278/CEE, relativa às lamas de depuração, no ano de 2002 Portugal, aplicou em terrenos agrícolas 46% das lamas produzidas no mesmo ano.

Cumpridos os requisitos de qualidade para a aplicação em solos agrícolas, as lamas de ETAR podem designar-se por biossólidos. Estes têm um importante valor fertilizante devido essencialmente à matéria orgânica e aos macronutrientes presentes na sua constituição.

Para os solos portugueses bastante carenciados, nomeadamente em matéria orgânica e nutrientes, a aplicação de biossólidos poderá contribuir para a melhoria da qualidade.

A matéria orgânica actua no solo como correctivo orgânico. A sua aplicação resulta nos seguintes efeitos:

- Melhoria da estrutura do solo, favorecendo a formação de agregados e aumentando a sua estabilidade, beneficiando em factores como a porosidade do solo e a sua capacidade de retenção de água;
- Aumento da capacidade de troca catiónica do solo, que confere ao solo uma melhor retenção de nutrientes e poder tamponizante do solo, protegendo-o de variações bruscas de acidez ou alcalinidade;
- Criação de melhores condições para a vida microbiana do solo, responsável pela dinâmica de nutrientes como o azoto ou o enxofre;
- Criação de melhores condições de absorção dos nutrientes por parte das culturas, aumentando a eficácia de adubação;
- Inactivação de alguns metais pesados, reduzindo o seu nível de toxicidade;
- Melhoria da fertilidade e produtividade do solo.

Os biossólidos actuam no solo como fornecedores de macro e micronutrientes, destacando-se o Azoto e o Fósforo. São elementos essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas, conferindo aos biossólidos um papel importante na fertilização das explorações agrícolas onde sejam aplicados.

Adicionalmente, possuem uma acção importante na reacção do solo. É o caso de lamas cuja estabilização é feita por adição de cal. Funcionam como correctivos alcalinizantes, benéficos em solos ácidos pois elevam o pH para valores favoráveis às culturas (Dias, 2004).

No caso de Portugal este aspecto é de extrema importância, uma vez que os solos de reacção ácida são predominantes, à excepção das regiões do maciço calcário da Serra dos Candeeiros, da Serra Algarvia e algumas regiões do Alentejo (Carvalho et al., 2002).

Nestas regiões será então conveniente a aplicação de biossólidos que provenham de lamas cuja estabilização tenha sido feita por outras vias. Estas possuem um poder acidificante devido à mineralização do azoto e enxofre orgânicos, que se transformam em nitratos e sulfatos no solo através de processos microbiológicos, originando acidez.

Contudo, a variação do pH nos solos como consequência da aplicação dos biossólidos, vai sendo atenuada gradualmente pelo efeito tamponizante que a matéria orgânica presente nos biossólidos lhe vai conferindo (Dias, 2004).

Em Portugal começa a ser frequente a reutilização de resíduos, nomeadamente lamas residuais urbanas, como fertilizantes agrícolas em solos destinados a culturas, segundo os princípios de uma agricultura sustentável.

Devido ao seu valor fertilizante, a aplicação de biossólidos no solo não passa só pela agricultura mas também pela silvicultura, nomeadamente silvicultura intensiva e reflorestação de zonas afectadas por fogos florestais, pela recuperação de solos degradados e improdutivos entre outros (Dias, 2004).

Para um crescimento e desenvolvimento adequados das culturas, com a obtenção de rendimentos elevados e de produtos de qualidade, é necessário que os nutrientes essenciais à planta (macro e micronutrientes) se encontrem no solo em determinadas quantidades e proporções.

As exigências quantitativas de nutrientes minerais variam com a natureza da cultura e, dentro desta, com a cultivar e o respectivo nível de produção. (Confagri, 2007)

A fertilidade de um solo encontra-se intimamente ligada à textura, matéria orgânica, complexo de troca e estrutura do solo. (Confagri, 2007)

Durante muitos séculos a agricultura não passou de uma mera actividade de subsistência. Contudo, hoje são-lhe exigidas elevadas produções e preços cada vez mais competitivos.

Em Portugal, bem como na maioria dos países, os solos não reúnem as condições necessárias ao desenvolvimento de culturas com o mínimo de viabilidade agronómica e económica, o que se torna de extrema necessidade recorrer à fertilização.

Os fertilizantes são um conjunto vasto de substâncias, as quais, de acordo com a função que prioritariamente vão exercer na fertilização das culturas, são subdivididas em correctivos e adubos.

Os correctivos actuam de forma essencialmente indirecta criando melhores condições para um aumento da fertilidade do meio em que as plantas são cultivadas, sobretudo pela influência no teor de matéria orgânica (correctivos orgânicos) ou na reacção (correctivos minerais). Contém ainda nutrientes vegetais, embora em menores quantidades no que se refere aos macronutrientes essenciais azoto, fósforo e potássio.

Os adubos são utilizados com o objectivo principal de contribuir para o fornecimento de nutrientes que não possam ser disponibilizados pelo meio, em quantidades suficientes. (SANTOS, J., 2002)

Para uma fertilização racional é necessário conhecer as necessidades nutritivas das culturas, o teor do solo em nutrientes e as características dos fertilizantes e o seu comportamento no solo. A partir da ponderação necessidades-disponibilidades poderão determinar-se os nutrientes e respectivas quantidades a fornecer ao solo para garantir uma adequada nutrição da cultura. (Confagri, 2007)

A Estação Agronómica Nacional tem vindo a desenvolver alguns estudos que visam a resolução de problemas concretos da nossa agricultura, bem como aqueles em que se procuram abrir novos caminhos para melhorar a qualidade da vida humana.

A valorização de lamas residuais urbanas é tema de estudo desde 1988, pelo Departamento de Ciência de Solo da EAN – INIA, apresentando actualmente conclusões relativamente aos benefícios que estes resíduos possuem para as culturas agrícolas.

Foram examinados experimentalmente os efeitos de aplicação das lamas residuais urbanas nos solos na produção de espécies forrageiras e/ou pratenses, assim como em parâmetros indicadores de fertilidade (pH, matéria orgânica, N total, P e K “assimiláveis”, Ca, Mg, e capacidade de troca cationica) e/ou poluição por metais pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zb) e compostos orgânicos (PCB, PAH e pesticidas organoclorados). Foram ainda comparadas as produções de matéria seca de ensaios de fertilização orgânica (lamas de ETAR) e inorgânica (SERRÃO, M.G. et. al, 2000, SERRÃO, M.G. et. al, 2001 (a) e (b), SERRÃO, M.G. et. al, 2003/2004, SERRÃO, M.G. et. al, 2005).

Embora os resultados não sejam sempre concordantes, quanto à modalidade de fertilização que induz expressiva melhoria nas características do solo, a aplicação de lamas, por vezes complementada por adubação, beneficia nitidamente a camada superficial do solo, em especial, quanto aos níveis de matéria orgânica, N e P. ((a)SERRÃO, M.G., 2001)

Do conjunto dos resultados obtidos pode-se afirmar que a aplicação até 50 t/ha de LRU, não contaminada com metais pesados, parece não poluir os solos, as culturas e o lençol freático, não representando, assim, risco ambiental ((b)SERRÃO, M.G. et al., 2001).

A aplicação deste resíduo tem aspectos benéficos, induzindo maior produção das culturas, teor de M.O., melhoria do nível de fertilidade verificada pelos parâmetros de fertilidade dos solos (pH, N, e P), bem como uma menor erosão do solo ((b)SERRÃO, M.G. et al., 2001 e SERRÃO, M.G. et al., 2003/2004). Os teores de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, extraídos dos solos, embora alguns (Zn, Cu e Ni) tenham revelado acréscimo devido à aplicação de lamas, verificaram-se sempre inferiores aos valores do decreto-lei 118/2006.

Foi provado ainda que, comparativamente à adubação completa, a aplicação de lama em solos agrícolas induz por vezes maiores produções de matéria seca. (SERRÃO, M.G. et al., 2000, SERRÃO, M.G. et al., 2004).

A incorporação no solo de LRU pode veicular certos compostos orgânicos poluentes, originando preocupação com os impactes potenciais dos mesmos no ambiente, e particularmente, na saúde humana.

Segundo SERRÃO, M.G. et al., 2003, pode concluir-se que após um ano de incorporação de uma lama na camada superficial de um solo, nenhum dos compostos orgânicos presentes naquele resíduo (PCB, pesticidas organoclorados e PAH) foi detectado no solo.

A diluição e a degradação no solo dos PCB e pesticidas organoclorados que se encontravam em concentrações detectáveis na lama, bem como a manutenção das baixas concentrações de PAH no solo, sugerem que o risco potencial de ingestão por ruminantes de partículas de terra contaminadas pelos contaminantes em causa é muito pouco provável um ano depois da sua aplicação.

As águas percoladas nos solos tratados com lamas foram consideradas de boa qualidade, relativamente aos parâmetros para a avaliação da qualidade da água destinada à rega. ((b)SERRÃO, M.G. et al., 2001)

Segundo SERRÃO, M.G. et al., 2000, com base apenas nos teores de P-Rhieh dos solos, a aplicação das lamas tem efeitos na disponibilidade do P claramente superiores em relação à adubação inorgânica, em solos distintos.

Verificou-se ainda que a disponibilidade de nutrientes como fósforo está dependente da lama e das características do solo em que aplica.

1.4.1. Condicionantes da aplicação de lamas de ETAR no solo

Para que as lamas sejam aplicadas no solo devem satisfazer determinados requisitos de qualidade, uma vez que são resíduos que provêm de águas residuais urbanas, que contêm numerosas substâncias nocivas não só às culturas e solos, mas também ao próprio Homem.

A utilização de lamas de depuração em solos agrícolas é regulamentada pelo Decreto-Lei nº 118/2006, de 21 de Junho, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de Junho, por forma a evitar efeitos nocivos no Homem, na água, nos solos, na vegetação e nos animais, promovendo a sua correcta utilização.

A aplicação no solo deve assim obedecer a regras, expostas no Decreto-Lei enunciado, sendo as seguintes:

- É proibida a aplicação de lamas no solo quando:

a) A concentração de um ou vários metais pesados nos solos ultrapasse os valores limites fixados nos quadros nº 1 e 2 do anexo I;

b) As quantidades de metais pesados introduzidos no solo, por unidade de superfície, numa média de 10 anos, ultrapassarem os valores limites fixados no quadro nº 4 do anexo I;

c) A concentração de um ou mais compostos orgânicos, incluindo dioxinas, nas lamas de estações de tratamento de águas residuais urbanas que recebam águas residuais de outras origens para além da doméstica, ultrapasse os valores limites dos parâmetros fixados no quadro nº 4 do anexo I;

- É proibida a utilização ou a entrega de lamas:

a) Em prados ou culturas forrageiras, dentro das três semanas imediatamente anteriores à apascentação do gado ou à colheita de culturas forrageiras;

b) Em culturas hortícolas e frutícolas durante o período vegetativo;

c) Em solos destinados a culturas hortícolas ou frutícolas, que estejam normalmente em contacto directo com o solo e que sejam normalmente consumidas em cru, durante um período de 10 meses antes da colheita e durante a colheita;

d) Em solos destinados ao modo de produção biológica;

- É proibida a aplicação de lamas em margens de águas, nos termos do Decreto-Lei enunciado.

- É proibido espalhar lamas sob condições climáticas adversas, designadamente em situações de alta pluviosidade

Adicionalmente, é de extrema importância controlar as substâncias de risco potencial, para a saúde pública e meio ambiente como microrganismos patogénicos, metais pesados, contaminantes orgânicos, nutrientes.

- Microrganismos Patogénicos

Na União Europeia não existe uniformização de parâmetros de controlo de microrganismos patogénicos (Carvalho, 2002)

A 3ª Versão Preparatória da Directiva relativa a valorização agrícola de lamas, estabelece como parâmetros a controlar:

- Organismo teste como a *Salmonella Senftenberg* w775, redução de $6\log_{10}$;

- *Salmonella* ssp., 0 UFC em 50g de sólidos (peso molhado);

- *Escherichia coli*, redução para menos de 5×10^2 UFC/g.

Existem alguns processos que alteram as características das lamas de modo a torna-las um meio menos propício ao desenvolvimento destes microrganismos. Factores como o pH, temperatura, humidade tempo de residência e disponibilidade de nutrientes, influenciam a sobrevivência dos microrganismos.

Assim, o documento referido anteriormente, propõe que as lamas sejam submetidas a processos de tratamento avançado, como a higienização, e tratamento convencional. Estes tratamentos são

técnicas de digestão aeróbia e anaeróbia, bem como condicionamento através de reagentes químico e processos térmicos.

A legislação vigente (Decreto-Lei 118/2006) atribui à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) e à Direcção Regional Agrícola (DRA) a decisão de se analisar microrganismos patogénicos, tais como *Salmonella ssp* e *Escherichia coli*.

- Metais Pesados

Alguns dos metais pesados são essenciais ao desenvolvimento das funções vitais das plantas, caso do cobre, zinco e cromo, e das plantas, cobre, zinco e níquel, todos eles em quantidades muito reduzidas.

Contudo, todos podem provocar afecções, agudas ou crónicas, acima de determinada concentração, quer na forma elementar, quer por intermédio dos compostos químicos que constituem, havendo alguns cancerígenos. Os mais perigosos são o mercúrio, o cádmio e o chumbo, cuja toxicidade se manifesta em concentrações extremamente reduzidas (Gonçalves, 2005).

Os metais pesados concentram-se em outros compostos, nomeadamente orgânicos, precipitando em processos como a digestão. Assim, a desidratação das lamas produz um efeito mínimo na sua remoção (Carvalho, 2002).

O Decreto-Lei 118/2006, estabelece valores limites de concentração de metais pesados presentes nas lamas e nos solos a aplicar, bem como regras de análise das lamas e dos solos, respectivamente (tabela 1.5, 1.6 e 1.7).

Tabela 1.5 - Valores limite de concentração de Metais Pesados nas lamas destinadas à agricultura.

Parâmetros	Valores Limite (mg/kg de matéria seca)
Cádmio	20
Cobre	1000
Níquel	300
Chumbo	750
Zinco	2500
Mercúrio	16
Cromo	1000

Tabela 1.6 – Valores limite para as quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos cultivados, com base numa média de 10 anos.

Parâmetros	Valores Limite (kg/ha/ano)
Cádmio	0,15
Cobre	12
Níquel	3
Chumbo	15
Zinco	30
Mercúrio	0,1
Crómio	4,5

Tabela 1.7 – Valores limite de concentração de metais pesados nos solos.

Parâmetros	Valores limite em solos com (mg/kg de matéria seca)		
	pH≤5,5	5,5<pH≤7,0	pH>7,0
Cádmio	1	3	4
Cobre	50	100	200
Níquel	30	75	110
Chumbo	50	300	450
Zinco	150	300	450
Mercúrio	1	1,5	2
Crómio	50	200	300

Sendo estes constituintes maioritariamente de origem industrial, é importante o conhecimento destas fontes bem como as ligações efectuadas à rede de drenagem, muitas vezes clandestinas. As águas residuais devem assim sofrer pré-tratamento antes de serem descarregadas para os sistemas de drenagem.

- Contaminantes Orgânicos

Os contaminantes orgânicos oriundos das águas residuais urbanas representam outro inconveniente da aplicação de biossólidos no solo.

Em média, o tempo de residência de uma água residual numa ETAR varia entre menos que 1 hora e poucos dias, o que se revela não ser suficiente à degradação de maior parte dos contaminantes orgânicos existentes (Xia et al., 2005, Halling-Sorensen et al., 1998). Também o tempo de retenção dos sólidos, durante o qual permanecem no processo de tratamento das águas residuais, e que pode atingir os 30 dias, se verifica insuficiente (Hammer e Hammer, 2001, Halling-Sorensen et al., 1998).

Estudos verificam que estes contaminantes podem ser removidos através de digestão anaeróbia, nomeadamente por volatilização dos alguns compostos voláteis, bem como por digestão aeróbia, verificando-se que esta última é mais eficaz, onde são parcialmente ou totalmente removidos (Knudsen et al., 2000)

Até à data, é reduzido o conhecimento sobre a presença, destino e potenciais efeitos no Homem, animais ou plantas. Contudo efeitos fisiológicos adversos como o aumento das taxas de cancro ou das disfunções reprodutivas em humanos e outros animais, e resistência a antibióticos, nomeadamente bactérias patogénicas, são considerados como potenciais efeitos dos contaminantes orgânicos presentes em bio sólidos oriundos de águas residuais urbanas (White et al., 1994, Kummerer, 2004).

A legislação vigente prevê que sejam analisados os compostos orgânicos AOX, LAS, DEHP, NPE, PAH e PCB, e dioxinas (PCDD/F), apenas para as lamas que provenham de estações de tratamento de águas residuais urbanas que recebam águas residuais de outras origens para além das domésticas (tabela 1.8).

Tabela 1.8 – Valores Limite de concentração de compostos orgânicos e dioxinas nas lamas destinadas à agricultura, produzidas em estações de tratamento de águas residuais urbanas que recebam águas residuais de outras origens para além da doméstica.

Compostos Orgânicos	Valores Limite
	(mg/kg ms)
AOX (compostos organohalogenados adsorvíveis ou haletos orgânicos adsorvíveis)	500
LAS (alquilo benzenossulfonados lineares)	2 600
DEHP (di(2-etilhexil) ftalato)	100
NPE (nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados)	50
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)	6
PCB (compostos bifenilos policlorados)	0,8
PCDD/F (policlorodibenzodioxinas/furanos)	100

- Nutrientes: Azoto e Fósforo

Os bio sólidos aplicados ao solo estão ainda sujeitos à legislação sobre a protecção da água contra nitratos de origem agrícola pelo Decreto-Lei nº 235/97, de 3 de Setembro de 1997, que estabelece um código de boas práticas agrícolas, enumerando regras de aplicação de bio sólidos no solo, considerados como fertilizantes comuns. Segundo este, a quantidade específica por hectare será a quantidade de estrume que contenha 170 kg de azoto.

Em condições aeróbias, como as que, geralmente, ocorrem no solo, o azoto orgânico sofre mineralização, através da acção de bactérias aeróbias específicas, que contempla as seguintes fases:

- Amonificação, em que o azoto orgânico é convertido em azoto amoniacal, consequência da produção de iões amónio; esta que pode ainda ocorrer em condições anaeróbias;

- Nitrificação, em que o azoto amoniacal é transformado em nitroso (NO^2) e, seguidamente em nítrico (NO^3), sendo estas duas formas de azoto muito móveis no solo e tendo a última uma importância especial na produção vegetal, uma vez que é nesta forma que o azoto é absorvido pelas plantas verdes, podendo algumas espécies também absorver na forma amoniacal.

Paralelamente à mineralização do azoto, ocorre um processo inverso, em que este elemento é imobilizado, passando da forma nítrica a orgânica, fruto da sua assimilação pelas plantas e microrganismos do solo, que o utilizam para a síntese das proteínas e dos ácidos nucleicos.

Se as quantidades de azoto nítrico existentes no solo ultrapassarem substancialmente a capacidade de assimilação das plantas e microrganismos, os nitratos em excesso podem, devido à sua elevada mobilidade, ser lixiviados através do solo para as águas subterrâneas, particularmente em zonas vulneráveis. Podem também ser transportados para os meios hídricos superficiais, devido a descargas directas ou através de fenómenos de escoamento da camada superior do solo, a partir de terras de cultivo e pastagens.

O amoníaco, assim como os nitritos, são tóxicos para os peixes e outra fauna aquática, mesmo em reduzidas concentrações, e a ingestão de grandes quantidades de nitratos, procedentes da água ou do consumo de plantas onde estes se acumularam, pode provocar afecções nos seres humanos ao nível do aparelho digestivo e respiratório (Gonçalves, 2005).

Algumas formas em que o azoto se encontra, como é o caso do azoto amoniacal que não sofre transformações, perdem-se para a atmosfera sob a forma de amoníaco, em elevada percentagem, devido à sua volatilidade, sendo libertados para a atmosfera, o que contribui para o efeito de estufa ou produção de chuvas ácidas (Gonçalves, 2005).

O fósforo apresenta-se nas lamas de ETAR, em maior percentagem, sob formas inorgânicas, solúveis e insolúveis, devido sobretudo aos processos de tratamento de remoção de fósforo das águas residuais, bem como de tratamento que as próprias lamas sofrem (estabilização).

Além da sua absorção pelas plantas e a possível lixiviação que o fósforo pode sofrer, a sua forma solúvel é retida em grande parte pelo solo, por mecanismos como: (Gonçalves, 2005)

- adsorção por colóides do solo, tais como os óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro, e minerais de argila;

- constituição de sais pouco solúveis com o alumínio, ferro e manganésio presentes na solução do solo com reacção ácida, com a decorrente precipitação, e, em solos alcalinos, da formação de sais pouco solúveis com o cálcio.

A capacidade do solo reter o fósforo é condicionada pelos seguintes factores: (Gonçalves, 2005)

- reacção do solo, atingindo as formas solúveis ou disponíveis maior expressão a pH neutro (cerca de 7);

- textura: os solos de textura fina, com maior percentagem de argila, retêm mais fósforo do que os de textura grosseira;

- teor de matéria orgânica humificada do solo, uma vez que as substâncias húmicas têm a capacidade de formar complexos com o fósforo e quelatar os iões ferro e alumínio, que por sua vez, constituem compostos pouco solúveis com o fósforo;

A deposição de elevadas quantidades de lamas no solo poderá exceder a capacidade de retenção deste e a de fixação pelas plantas. O fósforo solúvel em excesso pode, pela erosão do solo, ser transferido para os meios hídricos, criando problemas de eutrofização nas águas

superficiais ou atingir as águas subterrâneas por lixiviação. No caso de solos arenosos, de reacção neutra e reduzido teor de substâncias húmicas este risco é maior.

A presença de elevadas concentrações de nitratos, bem como de azoto amoniacal e de fósforo, contribuem para a eutrofização dos meios hídricos, nomeadamente lagos e estuários, originando a proliferação de algas na superfície. Este fenómeno pode conduzir à morte de plantas e animais aquáticos, uma vez que, além da luminosidade é diminuída o que prejudica o inibe de fotossíntese, ocorre a depleção de oxigénio dissolvido, essencial à vida, devido à decomposição aeróbia de algas mortas (Gonçalves, 2005).

1.5. Deposição de lamas urbanas em aterro sanitário

Quando as lamas não podem ser utilizadas para valorização, devido a condicionalismos de ordem ambiental, geográfica ou de política de gestão, o destino final para estas será a eliminação. Esta opção pode ser realizada por meio das várias operações identificadas na Portaria nº 209/2004, de 3 de Março. As operações de eliminação mais comuns em Portugal são a deposição em aterro e a incineração/co-incineração.

Em Portugal, grande parte das lamas produzidas em ETAR que não são valorizadas para a agricultura são eliminadas em Aterros Sanitários.

Quando factores como a sua qualidade, características do local ou políticas regionais não são favoráveis, as lamas tornam-se inaptas à valorização, sendo consideradas como resíduos sólidos e depositadas em aterro.

São assim confinadas em camadas, cobertas com material inerte de modo a evitar danos ou riscos à saúde e segurança do pessoal, minimizando impactes ambientais.

As lamas podem ser depositadas em Aterros Sanitários, juntamente com resíduos industriais banais (RIB), ou em aterros dedicados, dimensionados especificamente para esse fim (Carvalho, 2002).

Contudo esta prática tende a ser considerada fim de linha devido à crescente consciencialização da sociedade para temáticas como a reciclagem e reutilização de resíduos.

A gestão de fluxos especiais como as lamas de ETAR começa a dar os primeiros passos em Portugal. O Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU) em 1997, teve como grandes linhas orientadoras o encerramento e recuperação das lixeiras, sendo criadas infra-estruturas adequadas de tratamento e destino final em substituição.

Recentemente tem-se vindo a apostar na optimização da gestão dos sistemas já construídos, corrigindo disfunções operativas através da avaliação da qualidade do desempenho, bem como pelo reforço da recolha selectiva e reciclagem mutimaterial. (LNEC, 2006)

A descarga sistemática em aterro de matérias orgânicas está condenada, tanto em Portugal como na maior parte dos países europeus. Desenha-se assim a tendência de limitar o depósito de materiais susceptíveis de serem reciclados ou valorizados, nomeadamente lamas de ETAR, e que segue os princípios consignados na Estratégia Nacional para o Desvio de Resíduos Urbanos Biodegradáveis de Aterro (ENRRUBDA) aprovada em 2003, na sequência da Directiva nº

1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição em aterro, transposta pelo Decreto-Lei nº 152/2002, de 23 de Maio.

Neste contexto, Portugal aproxima-se de um novo ciclo de planeamento no sentido de uma gestão coordenada, tanto a nível nacional como europeu, para o cumprimento de objectivos estratégicos da EU: prevenção, reciclagem e transformação dos resíduos para efeitos da sua reutilização. (LNEC, 2006)

Os aterros passam assim a ser considerados como último recurso de tratamento e de destino final, componente acessória dos sistemas para uma maior flexibilidade de gestão e única solução disponível em situações de fim de linha.

Sempre que se justifique a deposição de resíduos em aterro, nomeadamente lamas de ETAR urbanas ou mistas, estes devem estar equipados com tecnologias que minimizem os efeitos de potenciais impactes negativos sobre factores como: qualidade das águas subterrâneas e superficiais, usos do solo, qualidade do ar, através do controlo de emissões de metano que podem contribuir para o efeito de estufa e para as alterações climáticas.

O Decreto-Lei nº152/2002, de 23 de Maio, visa regular a instalação, a exploração, o encerramento e a manutenção pós-encerramento de aterros destinados a resíduos, por forma a evitar ou a reduzir tanto quanto possível os efeitos negativos sobre o ambiente, quer à escala local, em especial a poluição das águas de superfície, das águas subterrâneas, do solo e da atmosfera, quer à escala global, em particular o efeito de estufa, bem como quaisquer riscos para a saúde humana.

Com o objectivo de rever estratégias consignadas no PERSU e ENRRUBDA, foi elaborado recentemente o PERSU II, para o período de 2007 a 2016, garantindo o estrito cumprimento das metas de desvio de aterro, previstas para 2009 e 2016, sem por em causa a sustentabilidade económica de princípios estratégicos e de objectivos ambientais já estabelecidos.

É parte integrante dos objectivos do PERSU II introduzir o princípio da responsabilidade do produtor em complemento dos princípios da precaução, da proximidade e da auto-suficiência e hierarquizar as operações de gestão atribuindo primazia à prevenção e colocando a eliminação em aterro como última opção. Para tal, é necessário ter em linha de conta a Estratégia Comunitária para a Gestão de Resíduos, (aprovada por Resolução de Conselho, de 24 de Fevereiro de 1997), e a nova abordagem da Política Integrada de Produto (PIP), através da implementação de acções como definição de estratégias temáticas, elaboração e implementação de medidas em matéria de prevenção e gestão de resíduos, bem como a elaboração ou revisão de legislação referente a resíduos, incluindo alguns fluxos específicos de resíduos como as lamas de depuração.

Este documento garante ainda a adopção de “life cycle thinking” à gestão de resíduos, através da criação de incentivos aos produtores para o *ecodesign* dos produtos que colocam no mercado, enfatizando para a importância da promoção de produtos que permitam a sua reutilização, bem como através da sensibilização dos cidadãos para o eco-consumo. (LNEC, 2006)

O facto de haver cada vez mais restrições à deposição de resíduos em aterro, nomeadamente lamas de ETAR, leva a que seja uma opção com elevados custos associados e sem mais valias. O custo de deposição em aterro sanitário variou, no ano de 2005, entre 60 e 110 €/ton. (Carvalho, M.).

1.6. Valorização Térmica

Apesar de ser actualmente o método mais recorrente, prevê-se que a valorização agrícola apresente limitações crescentes devido a restrições legislativas e à exigência dos utilizadores.

Face às adversidades actuais associadas, tanto a esta prática como à deposição em aterro, torna-se necessário potenciar destinos finais alternativos para as lamas produzidas em ETAR.

A valorização térmica das lamas surge como opção para os casos de grandes centros urbanos, onde a produção de lamas excede os meios de armazenamento e deposição disponíveis, bem como factores como restrições legislativas e os custos associados à deposição em Aterros Sanitários.

Ainda recente em Países desenvolvidos como Estados Unidos da América, Japão, Alemanha e Dinamarca, e pouco adoptada por enquanto em Portugal, a redução térmica de lamas pode ser efectuada através de várias técnicas das quais se destacam secagem térmica, incineração, e oxidação húmida.

A oxidação térmica agrupa por um lado a incineração “tradicional” em fase gasosa e por outro lado a oxidação por via húmida que utiliza o ar como comburente ou, mais recentemente, oxigénio puro. Estas técnicas permitem a conversão total ou parcial dos sólidos orgânicos em produtos finais, principalmente dióxido de carbono e água. Outras como a pirólise ou pirólise parcial possibilitam a oxidação parcial ou volatilização dos sólidos orgânicos, com produção de produtos finais com conteúdo energético (Carvalho, 2002).

A utilização destes processos constitui assim uma possível alternativa de destino final, mesmo para lamas valorizáveis na agricultura, transformando-as num produto mineral potencialmente valorizável, estável, biologicamente inerte e fácil de armazenar.

É um processo que permite a redução significativa do volume da lama, minimizando a quantidade a transportar, bem como o espaço de deposição.

1.6.1. Incineração

Integrada na linha de tratamento de lamas de uma ETAR, a incineração pratica-se em lamas que sejam submetidas pelo menos às operações unitárias de espessamento e desidratação mecânica, e em alguns casos a secagem térmica complementar.

Este processo consiste na volatilização e destruição, a altas temperaturas, dos compostos orgânicos presentes nas lamas. A combustão de elementos combustíveis como carbono, hidrogénio, enxofre, gorduras, hidratos de carbono e proteínas, no que resulta a formação de produtos finais como dióxido de carbono, dióxido de enxofre, vapor e cinzas.

As cinzas correspondem a mais de 50% do input de massa seca da lama. Os constituintes inorgânicos que a compõe dependem dos reagentes usados em processos de coagulação de sólidos suspensos das águas residuais ou da precipitação química de fósforo. A sílica (SiO_2) é componente principal, proveniente das partículas do solo arrastadas pelas águas pluviais. Podem ainda estar presentes óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) caso o tratamento das águas residuais passe por uma precipitação química, usando sais de ferro ou alumínio. Também nutrientes presentes na constituição das águas residuais e consequentemente nas lamas, apresentam-se como

constituintes das cinzas provenientes do processo de incineração. Sob forma de óxidos identificam-se o potássio (K_2O), cálcio (CaO), magnésio (MgO) e o fósforo (P_2O_5) (Levin, 1999).

O processo de incineração de lamas pode divergir em 2 categorias: mono-combustão, em incineradores dedicados e co-combustão (em conjunto com Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Fornos de Cimenteiras ou de Asfaltos, ou em Centrais Térmicas de Carvão Pulverizado ou de Leitos Fluidizados) (Lopes et al.).

Uma instalação de incineração dedicada pode ser formada por um dos três tipos seguintes de fornos: (Farinha, J., 2002)

- Forno Rotativo, consiste num cilindro ligeiramente inclinado sobre a horizontal, com movimento rotatório. Dependendo da variante, as lamas poderão circular em co-corrente ou contra-corrente dos gases, devendo estes sofrer uma pós-combustão antes de serem tratados. As cinzas são geralmente recolhidas à saída do forno.

- Forno de Pratos, constituído por uma cuba fixa cilíndrica, de eixo vertical, que contém uma série de pratos horizontais, percorridos em toda a sua extensão pelas lamas, sob a acção de raspadores. As lamas e os gases circulam em contra-corrente, e as lamas são secas nos primeiros pratos pelo calor dos gases. Durante o seu arrefecimento, são carregados de compostos voláteis e água, devendo assim sofrer pós-combustão antes do tratamento. O teor de poeiras é pouco significativo uma vez que as cinzas são evacuadas na parte baixa do forno.

O forno de pratos apresenta como vantagem a possibilidade de admitir resíduos mais grossos para além das lamas e o facto de se poder funcionar facilmente com uma carga muito inferior à carga nominal. Tem contudo como inconvenientes a necessidade de manutenção dos equipamentos em rotação no interior da câmara de combustão, e o facto de funcionar apenas de forma descontínua com paragens muito curtas.

- Forno de Leito Fluidizado, é cada vez mais utilizado na incineração de lamas, nomeadamente em substituição dos outros dois tipos referidos. A combustão da matéria orgânica é obtida através da injeção do ar de combustão sob um leito de areia, sobre uma grelha equipada de tubagem de aço. A câmara de repartição, denominada de caixa de vento frio ou quente, consoante a sua temperatura.

A lama é introduzida no interior do leito fluidizado, zona de reactividade intensa, em um ou mais pontos conforme a sua dimensão.

A combustão total é atingida a uma temperatura de pelo menos $850^{\circ}C$, sendo os gases conduzidos para uma zona de pós-reacção cujo grande volume permite assegurar um tempo de permanência dos gases superior ao mínimo de 2 segundos.

Tem como principais vantagens os elevados coeficientes de transferência resultantes da turbulência elevada do local de reacção, bem como a ausência de peças mecânicas em movimento no interior do reactor.

Para além das cinzas (produto sólido), o processo de incineração dá origem a efluente gasoso. Poluentes presentes nas lamas como Azoto, Cloro, Enxofre, Dioxinas e Furanos, são libertados na forma gasosa sob várias formas, durante a combustão. Este facto leva a que seja necessário um

eficiente sistema de tratamento dos gases de combustão, de modo a cumprir os limites impostos pelo Decreto-Lei 352/90, de 9 de Novembro, regulamentado pela Portaria nº 125/97, de 21 de Fevereiro. (Lopes et al.)

1.6.2. Reutilização das cinzas provenientes da incineração de lamas de ETAR

Para além do processo de incineração poder ter recuperação de energia eléctrica (co-incineração), é ainda possível a reutilização da cinza formada. A sua utilização na produção de materiais de construção, evita que se recorra à extracção exaustiva de matéria-prima natural como areia, gravilha ou rocha, minimizando os custos que tal acarreta.

Pode assim ser trabalhada de três formas: a cinza é adicionada ao cimento ou betão, produção de tijolo ou outros objectos ou fundição e solidificação em material de cerâmica (Levlin, 1999).

A produção de tijolos pode ser feita através de um molde metálico, com a forma pretendida, onde a cinza é prensada. Posteriormente é levada a uma fornalha, à temperatura de 1000 °C, entre 10 a 12 horas (Levlin E, 1999). É recomendada mistura da cinza com argila, correspondendo a fracção de cinza a cerca de 25% da matéria seca (Levlin, 1999).

Existem, no entanto, alguns problemas a ter em conta. Este material possui uma quantidade imensa de finos poros e consequentemente os níveis de adsorção de água por acção capilar são bastante elevados. Para diminuir esta adsorção, o tijolo é imerso numa solução de silicone. Outro problema é a variabilidade da composição da cinza, que dificulta o processo pela sua influência na temperatura de “cozedura” (Levlin, 1999).

Relativamente ao material de cerâmica, este é produzido pela fundição da cinza e posterior solidificação (Nomura, 1998 e Endo et al., 1997). O elevado teor em SiO_2 , Al_2O_3 , e CaO , possibilita a cristalização da cinza, o que confere à cerâmica melhor estrutura.

1.6.3. Oxidação por Via Húmida

Este processo possibilita o tratamento de lamas líquidas, espessadas e não desidratadas mecanicamente, contrariamente aos requisitos da incineração.

A reacção adoptada consiste em mineralizar o mais possível a matéria orgânica existente, em meio líquido, através de ar ou oxigénio, a alta temperatura (220 a 320° C) e sob pressão (40 a 130 bar) durante 15 minutos a 2 horas. A matéria carbonada é transformada principalmente em gás carbónico e água, e o azoto em amoníaco. No final, é obtido um resíduo mineral inerte e uma pequena quantidade de gás, desprovido de poeiras e óxidos de azoto, simplificando o seu tratamento. (Farinha, J., 2002)

1.6.4. Utilização de lamas como matéria-prima em Cimenteiras no contexto Nacional

Actualmente a produção e comercialização de cimento em Portugal são asseguradas pelas empresas CIMPOR e SECIL, com seis fábricas ao todo (Secil-Outão, Cibra-Pataias e Maceira-Liz da SECIL; Alhandra, Souselas e Loulé da CIMPOR).

Em Portugal a produção de cimento é feita por fornos por via seca, destacando-se dos fornos por via húmida por não usarem água para moer a matéria-prima.

As operações do processo de produção podem agrupar-se nas seguintes grandes fases:

- 1) Extracção e preparação das matérias-primas, obtenção de uma mistura sob a forma de um pó fino, correctamente designado por “cru”.
- 2) Cozedura controlada do cru em fornos rotativos, a temperaturas que vão até aos 1500 °C, obtendo-se um produto intermédio designado por clínquer, sob a forma de granulado.
- 3) Moagem do clínquer, com introdução de aditivos, obtendo-se como produto final o cimento;.

A utilização de lamas de ETAR para a produção de cimento, é actualmente uma prática em expansão.

É na fase de obtenção do Cru que são adicionadas as lamas às matérias-primas seleccionadas, que são posteriormente dosificadas, tendo em consideração a qualidade do produto a obter (clínquer).

Para que a qualidade do clínquer não seja posta em causa, as empresas cimenteiras apenas recebem as lamas que obedecem às especificações impostas. A empresa CIMPOR apresenta as especificações de aceitação de resíduos expostas na tabela 1.9.

Tabela 1.9 - Especificações de aceitação de resíduos da empresa CIMPOR.

	Valor Máximo
PCI (Kcal/kg) (base seca a 105 °C)	>1500
Humidade	<15%
Perda ao fogo (a 100 °C)	<30%
Ponto inflamação	Não tem
Compostos Orgânicos Totais (TOC)	0,5%
Halógenos totais (como Cl)	<0,25%
F ⁺	<0,1%
Cl ^{b+} (ppm)	<10
Cl total	<2%
S total	<3%
F+Br+I (ppm)	<1%
PCB+PCT (ppm)	<10
PsO ₅	<20%
Óxidos (%)	
CaO	>42
SiO ₂	>50
Al ₂ O ₃	<5
Fe ₂ O ₃	<4
MgO	<4
Na ₂ O	<2
K ₂ O	<2
SO ₃	<2
Metais (ppm)	VMA
Hg	10
Cd	<50
Tl	100
Cd+Tl	200
Cd+Hg+Tl	100
As+Ni+Co+Cu+Cr+Pb+Sb+Sn+Mn+V	<0,25%

A CIMPOR exclui ainda resíduos que na sua constituição apresentem produtos explosivos (peróxidos, perclorados, etc.), radioactivos, em putrefacção, lacrimógenos, resíduos hospitalares e produtos contaminados.

A utilização de lamas de ETAR como matéria-prima na produção de cimento é uma prática vantajosa para as entidades responsáveis pela sua gestão, uma vez que é um processo de valorização deste resíduo.

Do ponto de vista das empresas cimenteiras, esta prática possui apenas benefícios significativos em termos de redução de emissões de CO₂. As matérias-primas provenientes de pedreiras são ricas em carbonatos de cálcio, alguns dos constituintes responsáveis pela formação de CO₂ durante a cozedura. Em contrapartida as lamas de ETAR possuem na sua composição óxidos de cálcio. Sendo

parte integrante da composição do cru, a utilização deste resíduo como matéria-prima possibilita uma redução significativa de emissões CO₂.

As lamas mais utilizadas para a produção de cimento são as provenientes de ETA ou de serrações de mármore. Estas apresentam na sua composição elevadas concentrações de cálcio e sílica, compostos essenciais na produção de cimento. Já as lamas de ETAR apresentam na sua constituição elevado teor em matéria orgânica, poucos compostos de cálcio e sílica, apresentando ainda um poder calorífico insuficiente.

Parte das entidades responsáveis pela gestão das lamas de ETAR investirem num tratamento adequado às exigências das opções de valorização existentes no mercado.

1.6.5. Utilização de lamas como combustível

De acordo com a tendência da política energética e ambiental que tem sido adoptada nos últimos tempos, os resíduos não perigosos começam a ser encarados como combustível de substituição de baixo custo, fonte de energia renovável. As lamas de ETAR, com o devido tratamento, incluem-se neste conceito de combustível derivado de resíduos (CDR).

Destacam-se como principais produtores de CDR preparado a partir de lamas de ETAR a Áustria, Alemanha e Itália. Os seus utilizadores são essencialmente indústrias de grande intensidade energética, consumidores de combustíveis fósseis, como é o caso de entrais termoeléctricas (alimentadas a carvão), cimenteiras, papel e pasta, metalúrgicas, cerâmicas e co-gerações. (Dias, S.M. et al., 2006)

Portugal apesar de não ter grande experiência nesta prática, tem como potenciais utilizadores deste tipo de produto as empresas identificadas na figura 1.2.

Empresa	Localização	Consumo possível CDR (t/ano)		Tecnologia	Combustível Actual
		2007-2010	2010-2013		
PORTUCEL	Setúbal	10%(MW)		Leito Fluidizado	Biomassa
LIPOR II	Porto	44 000		Grelha	RSU
VALORSUL	Lisboa	75 000		Grelha	RSU
CIMPOR	Souselas	170 000	170 000 – 350 000	F. de Clínquer	Vários
	Alhandra				
	Loulé				
SECIL	Alcobaça	120 000	120 000 – 300 000	F. de Clínquer	Vários
	Maceira-Liz				
	Outão				
Novas Centrais de Biomassa	Várias		10%(MW)	?	Biomassa
ADP/Outros	??			?	?
Novas linhas Lipor e Valorsul	Porto Lisboa			?	CDR
TOTAL		429 000	1180000 -1774000		

Figura 1.3 - Potenciais utilizadores de CDR em Portugal. (Dias, S.M. et al., 2006)

1.7. Problemática da gestão das lamas oriundas do tratamento de águas residuais urbanas em Portugal

Segundo o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2000-2006, o Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território inscreveu nas suas prioridades, no que se refere aos serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais, elevar os níveis de atendimento das populações e da qualidade do serviço, de forma a colocar Portugal, neste domínio, a par da média europeia e os países mais desenvolvidos.

Esta orientação política passa pela satisfação dos objectivos estabelecidos para Portugal, pelo Plano de Desenvolvimento Regional (PDR), relativo a este período. Servir de água potável ao domicílio 95% da população e de drenagem e tratamento de águas residuais urbanas de 90%.

Adicionalmente, consta do PDR 2000-2006, que cada sistema de abastecimento de água deve servir pelo menos 95% dos efectivos populacionais da correspondente área de atendimento, e que cada sistema de saneamento de águas residuais não deve servir menos de 90% em drenagem e tratamento os efectivos populacionais da sua área de atendimento.

A crescente exigência em relação à qualidade do efluente tratado e protecção dos recursos hídricos, bem como o aumento dos níveis de atendimento de abastecimento de água potável e drenagem e tratamento de águas residuais, tem como consequência o aumento significativo da produção de lamas.

A gestão eficiente das águas residuais passa por uma correcta gestão das lamas oriundas do seu tratamento uma vez que para uma ETAR dimensionada para 12 000 a 30 000 h.ep., esta pode chegar a cerca de 50% dos custos operacionais totais, representando o seu destino final metade desse valor. (Carvalho, M., 2007)

Actualmente são assumidos com crescente importância quatro princípios base na gestão de resíduos: redução de volume, condicionamento ambiental, valorização orgânica; valorização energética.

Para que o produto final a ser valorizado atinja o máximo das suas potencialidades, deve optar-se por operações de tratamento que não só optimizem eficiência dos processos tradicionais, complementando-os com técnicas de redução do resíduo produzido, mas que se ajustem também às operações de armazenamento e transporte.

Contudo, sendo uma problemática relativamente recente, os processos de tratamento e destino final não estão ainda totalmente definidos. Cabe às entidades gestoras responsáveis pelas lamas investir em tecnologias que aumentem a eficiência do processo de estabilização das lamas, permitindo a redução dos sólidos voláteis com recuperação energética, e melhorando as características de desidratação das lamas.

Qualquer que seja o destino final a dar às lamas, estas devem apresentar uma qualidade mínima, que permita que o armazenamento, transporte e eliminação/valorização de forma segura e com o mínimo de custos.

Os destinos mais comuns englobam-se em três categorias: uso em solos para correcção do pH e/ou melhoria das suas características físicas e aplicação na agricultura ou floresta, como fonte de nutrientes; deposição em aterros sanitários e eliminação por processo térmicos como incineração.

Por todos os riscos que lhes estão associados e por falta de informação sobre esta temática, a valorização agrícola em Portugal encontra-se ainda bastante estigmatizada.

É portanto de extrema importância a análise do papel dos produtores agrícolas, o que pensam os consumidores e quais as suas motivações, para que seja possível a divulgação e o desenvolvimento desta prática.

O desconhecimento das propriedades benéficas aos solos e às culturas por parte da grande maioria dos consumidores, levam a que se gere desconfiança sobre os produtos que são produzidos em solos onde foram aplicadas lamas de ETAR. Como consequência gera-se uma concorrência entre estes produtos e os que são produzidos de forma tradicional, através de estrume e adubos.

O receio em torno desta temática deve-se sobre tudo à crescente preocupação e consequente exigência do consumidor na segurança alimentar. Adicionalmente, tanto o sector de agricultura biológica como as unidades agro-industriais e as cadeias de distribuição estão impedidas de utilizar lamas, o que se torna um constrangimento no incentivo do consumo de produtos provenientes de solos condicionados por lamas de ETAR. Apesar do conhecimento científico e de medidas adoptas como, código de boas práticas e análise obrigatória de amostras, a comunidade é reticente em relação a aplicação de lamas em terrenos agrícolas, considerando casos como a encefalopatia espongiforme bovina (BSE) e o receio das culturas geneticamente modificadas. (Agroges, 2007)

De forma a garantir a segurança da aplicação de lamas de ETAR nos solos existe um conjunto de dispositivos legais como o decreto-lei 118/2006, regulador desta prática, código de Boas Práticas Agrícolas, bem como a condicionalidade dos apoios públicos aos agricultores.

De forma a tirar o máximo partido da valorização de lamas urbanas em Portugal, surgem associados três objectivos:

- Optimização da gestão das lamas de forma a potenciar a sua valorização agrícola.
- Cumprir a legislação em vigor relativa á utilização de lamas em solos agrícolas.
- Optimizar as Boas Práticas Agrícolas

A gestão de lamas poderá ser optimizada com o desenvolvimento de modelos de gestão de lamas que permitam definir soluções de tratamento com vista no benefício que as lamas poderão dar aos solos e culturas, salvaguardando a saúde pública e o ambiente, bem como a definição da melhor logística de escoamento em função dos locais de produção e de destino final.

O risco de contaminação microbiológica é o principal factor limitante da aplicação de lamas urbanas em terrenos agrícolas. O seu controlo poderá ser feito através de duas abordagens. Actualmente a legislação limita a aplicação de lamas optando por restringi-la a determinadas culturas e épocas. Em alternativa ou conjuntamente, esta pode ser condicionada pela sua higienização, associada a processos de tratamento específicos (Figura 1.3).

A conjugação das duas vias tem vindo a ser a opção de eleição dos países da linha da frente no que toca à valorização agrícola de lamas.

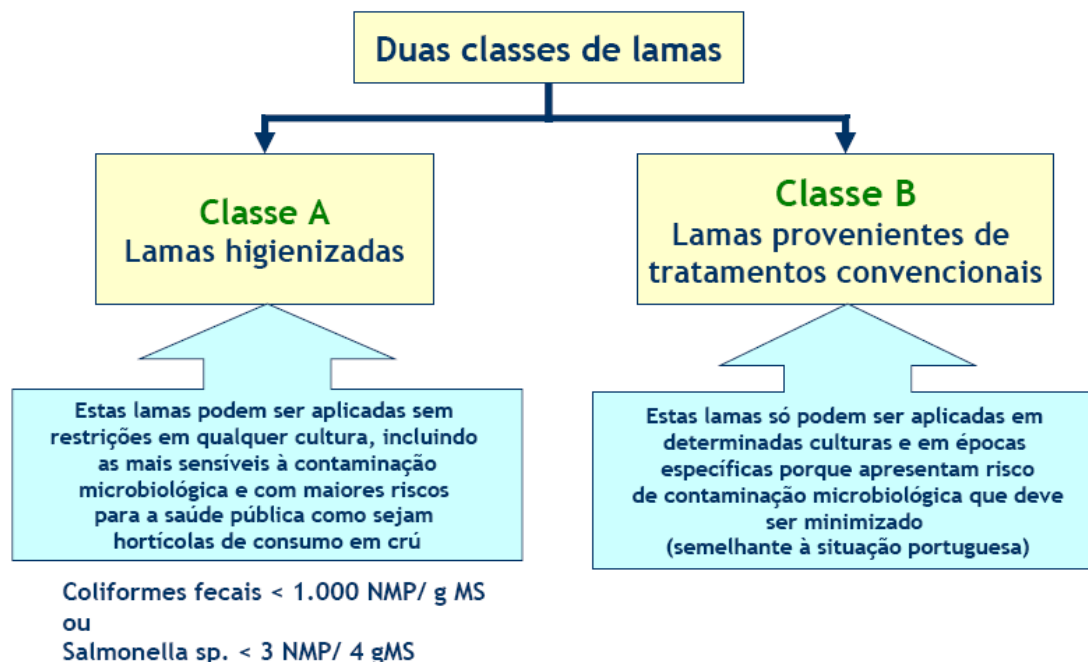


Figura 1.4 - Solução mista para o controlo da contaminação microbiológica. (Carvalho, M., 2007)

O processo de gestão das lamas produzidas em Países como Reino Unido e França depende directa e indirectamente de factores políticos, económicos, pressões ambientais, mudanças de atitudes e mentalidades, alterações nos mercados, bem como o desenvolvimento científico. Estes são algumas das forças motrizes de qualquer sistema de gestão de lamas.

Ambos os governos do Reino Unido e França consideram a valorização agrícola de lamas como a solução mais correcta, em termos ambientais, na maioria das circunstâncias, salvaguardando que nem sempre essa opção é possível. Em consenso, grupos ambientais e a generalidade do público começam a alterar mentalidades e a olhar para a valorização agrícola como uma opção ambientalmente melhor, em comparação com opções como incineração ou deposição em aterro sanitário, facto este reflectido na política de ambos os países.

Verifica-se nestes países que, em complemento do que é estipulado na directiva 86/278/CE, e tal como se verifica em Portugal, vão sendo avaliadas e desenvolvidas novas medidas cada vez mais rigorosas, com a intenção de minimizar os impactes associados a esta prática.

Com o objectivo de ultrapassar estas questões, o Reino Unido desenvolveu “The Safe Sludge Matrix”, que resulta de um acordo, gerido pela empresa ADAS, entre a UK Water, a British Retail Consortium (BRC) e o Department for the Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), e com a contribuição da Environmental Agency (EA).

Este documento pretende atribuir aos alimentos provenientes de terrenos onde foram aplicadas lamas, a máxima qualidade possível, com o intuito de cativar a confiança da indústria alimentar e revendedores. Consiste numa tabela onde estão identificadas as diferentes culturas juntamente com o grau mínimo aceitável de tratamento que as lamas devem ter para serem aplicadas nas diferentes culturas (tabela 1.10).

Tabela 1.10 - "The Safe Sludge Matrix". (Adaptado de UnitedWater, 2007)

Grupo de Culturas		Lamas sem Tratamento	Lamas com tratamento Convencional		Lamas com Tratamento Avançado	
Fruta		×	×		✓	(10 meses de intervalo entre colheitas)
Saladas		×	(30 meses de intervalo entre colheitas) ×		✓	
Vegetais		×	(12 meses de intervalo entre colheitas) ×		✓	
Horticultura		×	×		✓	
Mistura e cultura de alimento para animais		×	✓		✓	
Prados e Culturas Forrageiras	Pastoreio	×	×	(3 semanas anteriores à apascentação do gado ou à colheita de culturas)	✓	(3 semanas anteriores à apascentação do gado ou à colheita de culturas)
	Colheita	×	✓		✓	

× Aplicação não é permitida (excepto quando apresentadas condições de aplicação)

✓ Todas as aplicações devem obedecer às regras do uso de lamas na agricultura e ao Código de Boas Práticas Agrícolas (a ser alterado durante o ano de 2001).

Foi elaborado no seguimento da implementação de rigorosas medidas que regulam a presença de organismos patogénicos e concentração de contaminantes, bem como pelo receio de risco para a saúde pública por parte do público consumidor.

Também as entidades responsáveis pelo tratamento das águas residuais destes países consideram a aplicação de lamas em terrenos agrícolas a opção mais efectiva na gestão deste resíduo.

É cobrado um valor simbólico aos agricultores pelas lamas, uma vez que é na opinião das empresas responsáveis a entrega deste resíduo sem qualquer custo faria com que os consumidores apenas o considerassem um desperdício das ETAR sem qualquer utilidade. Todas estas empresas têm como objectivo encorajar a reciclagem de um resíduo com tantas potencialidades, reconhecendo que para isso é necessário investir num serviço de qualidade.

Algumas empresas investem na divulgação do seu produto e estabelecem acordos com os agricultores, com o objectivo de encorajarem os mesmos a aplicá-lo nas suas culturas.

O valor das lamas está directamente dependente de variados factores como as suas características físicas e químicas, sendo de todo o interesse para as entidades responsáveis assegurarem que este resíduo é gerido de uma forma sustentável ao mais baixo custo.

Segundo o Relatório da Comissão ao Conselho e Parlamento Europeu sobre a aplicação da legislação comunitária relativa aos resíduos, nomeadamente à Directiva 86/278/CEE, relativa às lamas de depuração, a valorização agrícola no Reino Unido e França foi a solução adoptada para 58% das lamas produzidas no ano de 2002.

Devido às metas impostas pela Comunidade Europeia em relação à redução de deposição de resíduos biodegradáveis em aterro, os custos desta prática tornaram-se cada vez mais elevados nos últimos tempos. Os Estados Membros, tal como Reino Unido e França, tendem a procurar outras opções mais económicas, o que põe a valorização agrícola no topo das opções escolhidas. Outra opção possível é incineração deste resíduo em cimenteiras como combustível ou sua valorização como matéria-prima na produção de cimento, especialmente para lamas impróprias à valorização agrícola. Começam também a ser alvo de estudo a viabilidade económica de outras opções como a "Thermal Hydrolysis".

Em França ocorre uma grande variedade de obstáculos que contrapõem os benefícios da valorização agrícola. De modo a assegurar a sustentabilidade deste processo, a indústria do sector está consciente da necessidade de interacção de questões relacionadas com o ambiente e opinião pública. O Governo Francês bem como a Indústria do sector contribui anualmente, de forma significativa para o desenvolvimento do conhecimento científico desta prática

Também o Governo do Reino Unido reúne esforços, defendendo a sua preferência pelo uso de lamas em terrenos agrícola, em projectos focados em questões como redução das concentrações de contaminantes, valores limite para os metais pesados e seus efeitos, bem como a estimação do risco de organismos patogénicos.

Globalmente, a Directiva 86/278/CEE é um instrumento de longo prazo que tem sido bastante eficaz para prevenir o alastramento da poluição em resultado da utilização de lamas de depuração. Por conseguinte, a utilização destas lamas para fertilizar solos agrícolas pode ser considerada uma das melhores opções ambientais se e só se não suscitar qualquer ameaça ao ambiente ou à saúde dos animais e do homem.

O Decreto-Lei 118/2006 estabelece que a utilização de lamas em solos agrícolas está sujeita a licenciamento pela direcção regional da agricultura territorialmente competente. No entanto está presente a possibilidade de, mesmo cumpridos os requisitos, ocorrer algum tipo de problema e ser posta em causa a segurança do consumidor e/ou do meio ambiente. Em virtude deste facto, surge a dúvida sobre a quem deve ser atribuída a responsabilidade (proprietário, técnico, laboratório de análises, entidade gestora da ETAR).

Para além de tudo o que foi referido, verifica-se que ao longo dos anos a inventariação dos dados relativos a produção de lamas e destino final adoptado tem sido desatendido. Assim, e porque se perspectiva um significativo aumento de produção de lamas, torna-se necessária a mudança de atitude por parte das entidades gestoras de ETAR.

2. Objectivo

Esta dissertação teve como objectivo principal a análise da gestão de lamas provenientes do tratamento de águas residuais, no contexto nacional.

Assim, foram estabelecidos como objectivos complementares a quantificação da produção de lamas, bem como a pesquisa e discussão das diferentes soluções de destino final adequadas à realidade actual do país.

3. Plano de Trabalho

De forma a cumprir os objectivos propostos para a presente dissertação foi efectuada a planificação de trabalho esquematizada na seguinte figura.



Figura 3.1 - Fluxograma de planificação de trabalho.

4. Metodologia e Pressupostos adoptados

4.1 Quantificação da Produção de Lamas

Os dados base recolhidos e analisados para a estimativa de produção de lamas em Portugal no ano de 2002 têm origem no Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e Águas Residuais (INSAAR).

O INSAAR, desenvolvido para o âmbito nacional, contempla a inventariação de dados que permitem avaliar a produção de lamas das ETAR urbanas e mistas existentes em Portugal Continental.

Através de tabelas de dados recolhidos junto das entidades gestoras, foi possível ter acesso a informação como, tipo instalação de tratamento de águas residuais, concelho, freguesia, bacia hidrográfica e entidade gestora a que pertencem, situação de funcionamento, população total servida, grau de tratamento, volume anual afluente, bem como, quantidade de lamas produzidas.

De entre 1334 ETAR pertencentes ao universo considerado para este trabalho, urbanas e mistas, apenas 826 infra-estruturas possuem informação sobre a quantidade de lamas produzidas (tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Universo de ETAR em Portugal, no ano de 2002, considerado para a quantificação da produção de lamas.

	Nº de ETAR
Continente	1334
Aveiro	48
Beja	101
Braga	101
Bragança	42
Castelo Branco	86
Coimbra	101
Évora	78
Faro	70
Guarda	38
Leiria	76
Lisboa	79
Portalegre	56
Porto	83
Santarém	88
Setúbal Oeste	79
Setúbal Alentejo	
Viana do Castelo	21
Vila Real	42
Viseu	145

A quantidade de lamas produzidas que não se encontra disponível foi estimada, tendo em conta uma captação em função do tipo de tratamento do efluente e o volume anual de efluente tratado (m^3), informação esta disponível nos dados do INSAAR (tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Capitações adoptadas dos vários graus de tratamento de águas residuais. ((Metcalf & Eddy, 2003)

Grau de Tratamento	Matéria Sólida Seca (kg/10 ³ m ³)
Primário	150
Secundário	75
Terciário	800

4.2 Quantificação da Superfície Agrícola Utilizada apta à aplicação de lamas

Os dados de produção de lamas disponibilizados pelo INSAAR permitiram a análise da produção a nível regional deste resíduo. Os dados foram divididos nas seguintes regiões: Entre Douro e Minho (EDM), Trás-os-Montes (TM), Beira Interior (BI), Beira Litoral (BL), Ribatejo e Oeste (RO), Alentejo (ALE) e Algarve (ALG).

Este passo possibilitou o cruzamento de dados de produção de lamas e de superfície agrícola utilizada.

Note-se que existem concelhos do distrito de Setúbal que pertencem à região do Ribatejo e Oeste e outros ao Alentejo. Assim, fazem parte da região do Ribatejo e Oeste os concelhos de Almada, Seixal, Barreiro, Moita, Montijo, Alcochete, Sesimbra, Setúbal e Palmela. Os concelhos do distrito de Setúbal pertencentes à região do Alentejo são Alcácer do Sal, Grândola, Santiago do Cacém e Sines. Com isto, o concelho de Setúbal fica dissociado.

Sendo a aplicação de lamas em terrenos agrícolas, uma prática que implica alguns riscos, a legislação prevê restrições para esta prática. Este facto obriga a que o valor de área agrícola utilizada em Portugal Continental seja tratado, de modo a que seja possível chegar a uma área apta à deposição deste tipo de resíduo.

A Superfície Agrícola Utilizada é composta por terras aráveis, que se divide em culturas temporárias e terrenos de pousio, horta familiar, culturas permanentes e pastagens permanentes.

Na tabela 4.3 é apresentada a definição de cada tipo de cultura referido.

Tabela 4.3 – Definição dos tipos de culturas que compõem a SAU. (Adaptado de IEEA 2005)

Tipo de Culturas	Definição
Culturas temporárias	Aquelas cujo ciclo vegetativo não excede um ano (anuais) e as que não sendo anuais são ressemeadas com intervalos que não excedem os 5 anos.
Pousio	Áreas incluídas no afolhamento ou rotação, trabalhadas ou não, sem fornecer colheita durante o ano agrícola, tendo em vista o melhoramento das superfícies.
Culturas permanentes	Ocupam o solo durante um longo período e fornecem repetidas colheitas (excluem-se as pastagens permanentes).
Pastagens permanentes	Superfícies semeadas ou espontâneas, em geral herbáceas, destinadas a serem comidas pelo gado no local em que vegetam, mas que acessoriamente podem ser cortadas em determinados períodos do ano. Não estão incluídas numa rotação e ocupam o solo por um período superior a 5 anos.
Horta familiar	Superfície reservada pelo produtor para a cultura de produtos hortícolas ou frutos destinados a auto-consumo.

A SAU de Portugal Continental totaliza 3 552 mil hectares, detendo as pastagens permanentes a maior fracção (~48%), seguindo-se as terras aráveis (34%) e as culturas permanentes (~18%). Em termos regionais, quase metade da SAU nacional situa-se no Alentejo, seguindo-se Trás-os-Montes (~13%), Ribatejo e Oeste (~11%), Beira Interior (~10%) e Entre Douro e Minho (~6%). (IEEA, 2005)

Tabela 4.4 – Composição da SAU por Região (unidade ha). (Adaptado de IEEA 2005)

Regiões	Terras Aráveis		Horta Familiar	Culturas Permanentes	Pastagens Permanentes	SAU
	Culturas Temporárias	Pousio				
Portugal Continental	855 286	373 654	20 712	643 520	1 659 175	3 552 347
EDM	94 742	848	2 080	28 633	105 958	232 261
TM	76 883	49 332	4 088	189 211	154 017	473 531
BL	79 753	4 961	3 977	4 4026	19 231	151 948
BI	90 019	18 087	3 682	83 236	188 981	384 005
RO	121 066	33 641	4 861	98 092	154 433	412 093
ALE	373 650	243 587	989	156 233	1 017 826	1 792 285
ALG	19 173	23 198	1 036	44 089	18 730	106 226

Os prados temporários e as culturas forrageiras representam 46% do total das culturas temporárias em cultura principal, seguindo-se os cereais para grão com 44%. De salientar que, no

caso dos prados temporários e das culturas forrageiras, as superfícies em cultura principal, i.e. de maior rendimento sob o ponto de vista económico, representam apenas 3/4 do total da área, sendo as restantes efectuadas em cultura secundária sucessiva e sob-coberto, concentrando-se maioritariamente em Entre Douro e Minho e na Beira Litoral, onde representam cerca de metade das áreas forrageiras. (IEEA, 2005)

Os restantes grupos de culturas temporárias encontram-se muito concentrados, com especial destaque para as culturas industriais no Alentejo (63%) e as culturas hortícolas e florícolas no Ribatejo e Oeste (59%).

Considerando as restrições impostas pelo Decreto-Lei nº 118/2006, são excluídas da SAU apta a aplicação de lamas, as explorações de horta familiar e culturas temporárias de horticultura e floricultura, bem como a área de produção biológica (tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Culturas cuja aplicação de lamas não é permitida (ha). (Adaptado de IEEA 2005)

Regiões	Horta Familiar	Horticultura e floricultura	Produção Biológica
Portugal Continental	20 712	37 375	214 232
EDM	2 080	3 124	2 142
TM	4 088	941	9 362
BL	3 977	3 136	299
BI	3 682	315	47 838
RO	4 861	22 904	20 154
ALE	989	5 049	133 230
ALG	1 036	1 906	1 207

5. Resultados

Os dados permitiram chegar a um valor de produção de lamas de 296 403 ton/ano de lamas. Este valor resulta da soma da quantidade de lamas produzidas por freguesia, e por sua vez, por concelho (Figura 5.1 e tabela 5.1).

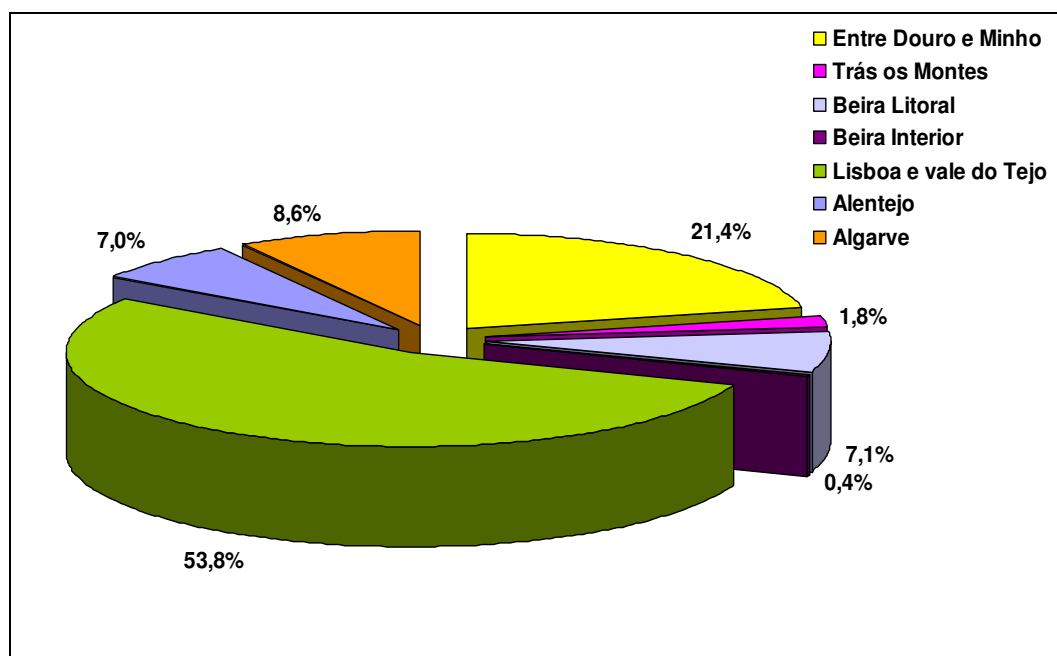


Figura 5.1 - Distribuição da produção de lamas, no ano de 2002, de Portugal Continental.

Tabela 5.1– Distribuição da produção de lamas, no ano de 2002, de Portugal Continental. (Adaptado do INSAAR)

Regiões	Concelhos	Produção de lamas (ton)	Produção de lamas total (ton)
EDM	Braga	44 998	63 449
	Porto	17 948	
	Viana do Castelo	502	
TM	Bragança	217	5 334
	Vila Real	5 118	
BL	Aveiro	2 412	20 914
	Coimbra	5 507	
	Leiria	12 771	
	Viseu	224	
BI	Castelo Branco	188	1 056
	Guarda	868	
RO	Lisboa	119 446	159 353
	Santarém	11 713	
	Setúbal	28 193	
ALE	Beja	2 581	20 874
	Évora	4 217	
	Portalegre	3 932	
	Setúbal	10 144	
ALG	Faro	25 422	25 422
Portugal Continental		296 403	

Os valores de SAU obtidos neste exercício facilitam a percepção da área existente a nível nacional, apta à aplicação de lamas (Figura 5.2). Com os dados da tabela seguinte percebe-se que a região do Alentejo é a que possui uma área mais significativa, representando 50% de toda a área apta. Por sua vez as regiões do Algarve, Entre Douro e Minho e Beira Litoral possuem parcelas inferiores a 10%, o que denota que a valorização agrícola poderá não ser um destino viável para as lamas aí produzidas.

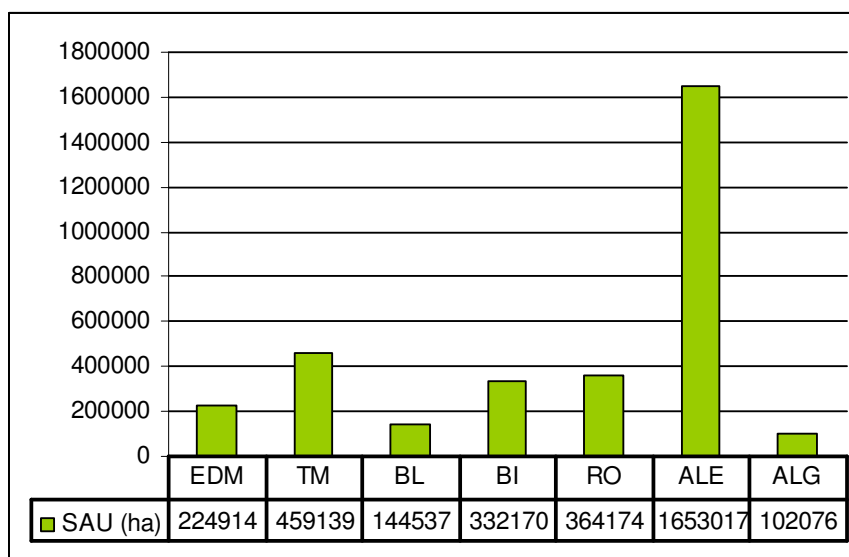


Figura 5.1 - Superfície Agrícola Utilizada, apta à aplicação de lamas, de cada região.

Efectuando o rácio entre área apta à aplicação de lamas (ha) de cada região e as lamas produzidas, é possível distribuir as lamas que se produzem numa determinada região pela área agrícola utilizada, apta à sua aplicação.

Tabela 5.2 – Rácio entre área apta à aplicação de lamas (ha) de cada região e as lamas produzidas.

Regiões	Área apta à aplicação de lamas (ha)	Lamas Produzidas (ton)	Rácio (kg/ha)
EDM	224 914	63 449	282
TM	459 139	5 334	12
BL	144 537	20 914	145
BI	332 170	1 056	3
RO	364 174	159 353	437
ALE	1 653 017	20 874	13
ALG	102 076	25 422	249
Portugal Continental	3 280 027	296 403	90

As lamas de ETAR apresentam benefícios equiparados aos dos fertilizantes consumidos para as culturas de cada região, sendo este facto comprovado por inúmeros estudos.

Em Portugal, o consumo aparente de fertilizantes inorgânicos azotados, fosfatados e potássicos na agricultura, para o ano de 2005 foi de 254 925 toneladas (INE, 2007), para uma superfície agrícola utilizada de 3 552 347 ha. São assim consumidos 72 kg de fertilizantes por unidade de área agrícola.

Pelo rácio das lamas produzidas com a área apta a aplicação de lamas chegou-se a um valor de 90 kg/ha de lamas produzidas. Este valor ignora a quantidade de lamas que não cumprem os requisitos estabelecidos na legislação para a valorização agrícola. Inclusivamente os fertilizantes

comuns são compostos com concentrações de nutrientes significativamente superiores às que as lamas de ETAR possuem. Como tal, para aplicar a mesma concentração de nutrientes, como azoto ou fósforo, seria necessário a aplicação de uma quantidade maior de lamas do que fertilizantes comuns.

Assim sendo, conclui-se que desde que as lamas cumpram as restrições necessárias, a aplicação das mesmas nos solos é uma solução ideal para o escoamento deste resíduo.

O uso de lamas de depuração em terrenos agrícolas não permite a substituição do consumo dos fertilizantes, podendo traduzir-se contudo na sua redução.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística, no ano de 2006, foram gastos cerca de 157 430 000 € em adubos e correctivos do solo.

A empresa Terra Fértil – Fertilizantes Agrícolas, Lda, apenas cobra ao agricultor o espalhamento das lamas no terreno. Por 30 a 45 ton/ha, o agricultor paga à empresa 75 €/ha.

Totalizando as toneladas de lamas que se produziram em Portugal no ano de 2002 (296 403 ton), bem como os ha de terreno (2 764 600 ha) aptos à sua aplicação em 2005, verifica-se um rácio de 0,09 ton/ha. Sabendo que o espalhamento de 45 ton/ha custam 75 euros, podemos concluir que o espalhamento de 0,09 ton/ha, custariam 0,15 €/ha. Ou seja, se fosse usado o total de lamas produzidas anualmente em Portugal, como adubos e correctivos do solo, seriam gastos 414 690 €/ano.

6. Discussão

A gestão sustentável de lamas de depuração tem implicações a nível social, ambiental e económico, dada a natureza deste tipo de resíduo. Contudo, considera-se que a adequação da qualidade das lamas aos possíveis destinos finais, deverá constituir a principal variável para assegurar a sustentabilidade da sua gestão. Ou seja, não parece fazer sentido persistir na tentativa de usar determinados destinos finais quando da utilização das lamas resultarem impactes ambientais inaceitáveis. Esta situação tem contribuído para deformar a apreciação das suas potenciais aplicações e, assim, agravar o problema de deposição deste tipo de resíduo.

Com a análise efectuada neste trabalho, constatou-se que prevalece um défice de gestão do resíduo lamas, sendo evidente que, face aos seus potenciais usos, só marginalmente é considerado como um produto, como seria desejável.

Deste modo, relativamente à situação nacional, preconiza-se um modelo de gestão integrada por região, com capacidade de condicionar os sistemas de tratamento de águas residuais, no sentido de assegurar a qualidade das lamas produzidas, especificadamente:

- (i) Separação e, ou pré-tratamento de efluentes industriais afluentes às redes de drenagem, para prevenir que substâncias / poluentes indesejáveis possam deteriorar a qualidade das lamas;
- (ii) Adequação do tipo de tratamento e higienização de lamas ao tipo de aplicação a jusante;
- (iii) Incorporação de sistemas de armazenamento de lamas tratadas que permita satisfazer flutuações da procura, entre outros aspectos, decorrentes da sazonalidade.

A este procedimento está inerente um investimento por parte das entidades gestoras na aquisição de tecnologias de tratamento que permitam a produção de um resíduo de características adequadas à valorização, incluindo a recuperação energética.

Considera-se que o armazenamento de lamas tratadas é um aspecto importante para a sua gestão, já que a procura tem grandes flutuações, pelo que importaria mesmo poder centralizar fluxos de lamas, através de agrupamentos de ETAR, as quais deveriam ser providas de dispositivos que permitissem gerir de forma equilibrada a oferta e a procura.

Acrescem as rigorosas restrições que a valorização agrícola tende a incorporar, que levam a maiores exigências de qualidade e, consequentemente, de sustentabilidade, pelo que se admite, para garantir adequação de destinos finais, que no nosso País venha a ser necessário adoptar transferência de lamas entre regiões.

Analisando a produção de lamas das regiões consideradas com a respectiva viabilidade de valorização agrícola é possível diagnosticar quais as regiões onde a transferência de lamas parece constituir uma opção a considerar.

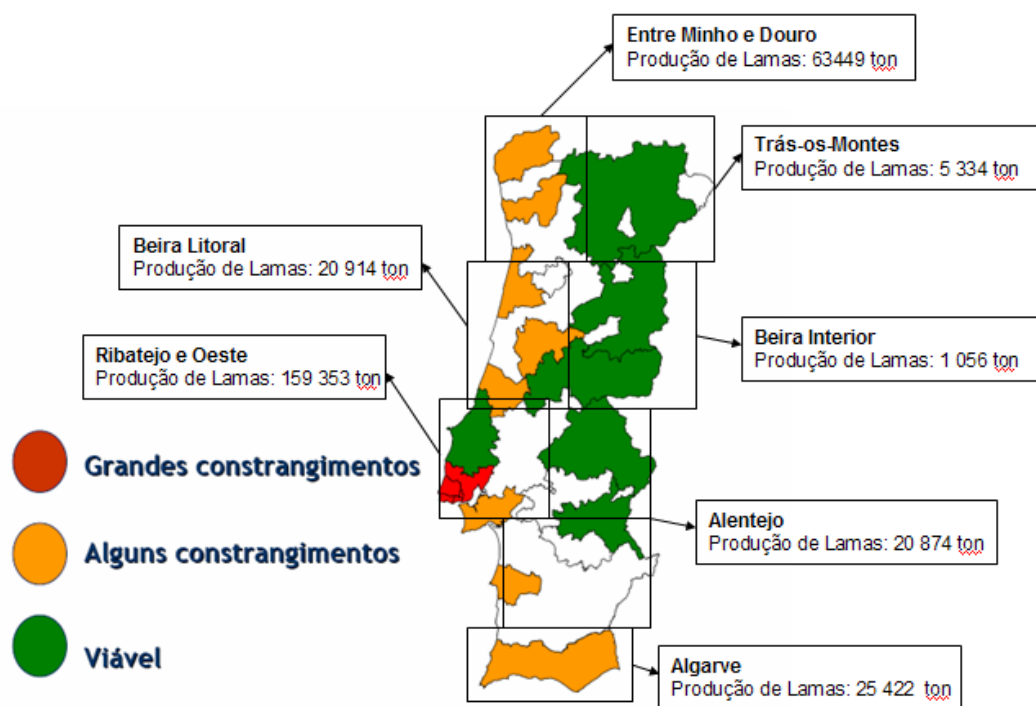


Figura 6.1 - Viabilidade da valorização agrícola de lamas em Portugal. (Adaptado de Carvalho, M., 2007)

Através da Figura 6.1, constata-se que o interior do país apresenta maior viabilidade para a aplicação de lamas em terrenos agrícolas, embora seja aí que a sua produção é mais reduzida. Os valores indicados mostram que as regiões de Trás-os-Montes, Beira Interior e Alentejo possuem capacidade de escoamento do fluxo de lamas que produzem e, possivelmente, de parte do fluxo das regiões vizinhas com menor viabilidade de valorização agrícola.

No entanto, o transporte parece ser o factor limitante mais significativo para a selecção do destino final, devido aos custos que lhe estão associados, os quais poderão ser minimizados se se reduzir o teor de água das lamas, bem como se o seu grau de estabilização for aumentado, requisitos que se traduzem em custos adicionais.

Nestas circunstâncias, a distância deverá ser a variável determinante, surgindo portanto a necessidade de realizar estudos de viabilidade económica para otimizar a relação entre custos de tratamento, custos de transporte e valor das lamas, enquanto produto para fertilização agrícola, ou simplesmente como corrector de solos.

Dadas as limitações de deposição de matéria orgânica em aterro, para as lamas que excederem a quantidade máxima com utilização agrícola sustentada, preconiza-se a respectiva valorização energética através de incineração, dedicada ou em instalações industriais existentes. Este facto não reduz a necessidade de optimização do tratamento, uma vez que as lamas devem obedecer aos requisitos exigidos para sua eliminação em incineradoras.

Actualmente, a gestão de lamas é feita, na maioria dos casos, por empresas especializadas, contratadas pelas entidades gestoras de ETAR, nem sempre sendo evidentes as soluções que adoptam.

Assim, considera-se que a optimização da gestão de lamas a nível nacional deverá passar pela eventual criação de uma entidade, a qual se deverá encarregar do respectivo destino final, sendo ressarcida por taxa a cobrar aos sistemas de águas residuais, admitindo-se que esta taxa possa variar em função do grau de desidratação e da qualidade das lamas.

Esta entidade, deverá promover estudos de sustentabilidade da gestão de lamas, avaliando, por região, ou outra unidade geográfica mais consentânea com a produção/destino final, as soluções de destino final a adoptar, podendo incluir a transferência de lamas entre unidades geográficas. Por outro lado, deverá recorrer aos proveitos gerados para maximizar a aplicação de lamas na agricultura, através de incentivos à utilização.

Esta opção possibilitaria a aplicação de tratamentos de lamas adequados ao destino final, beneficiando a qualidade do produto, podendo promover o investimento em tecnologias para esse efeito, amortizando-o através da comercialização de um produto com características benéficas para terrenos agrícolas.

As entidades gestoras teriam de se responsabilizar pelo armazenamento do produto, sendo o respectivo marketing desenvolvido pela entidade a criar, anteriormente referida, a qual deveria possuir capacidade de intervenção para regular a comercialização do produto em função da respectiva qualidade, por forma a preservar o ambiente e, indirectamente, proteger os consumidores.

Sempre que a utilização agrícola, presumivelmente a mais comum e mais desejável, face à recuperação de nutrientes e à redução do uso de fertilizantes químicos, não for economicamente viável, considera-se que haverá que recorrer à incineração de lamas nas centrais disponíveis, como se mostra na Figura 6.2.

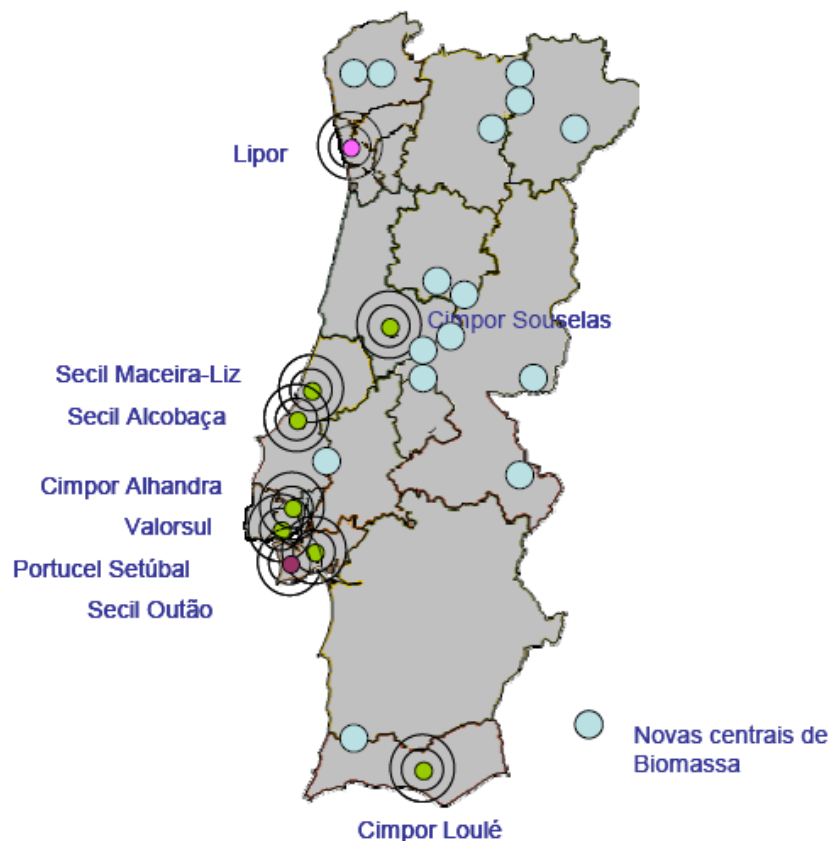


Figura 6.2 - Localização das instalações capazes de incorporar CDR. (Dias, S.M. et al., 2006)

A gestão de lamas poderá ser otimizada quando houver o conhecimento efectivo, tanto quantitativo como qualitativo, do que se produz em Portugal. Neste sentido, encontra-se aprovado em decreto-lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, o Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER), um projecto ambicioso, faseado no tempo, que visa disponibilizar, por via electrónica, um mecanismo uniforme de registo e acesso a dados sobre todos os tipos de resíduos, nomeadamente lamas de depuração biológica, substituindo os anteriores sistemas e mapas de registo. Para o efeito, a obrigatoriedade de efectuar o registo permanece a cargo de produtores, operadores de gestão de resíduos e entidades responsáveis pelos sistemas de gestão, mas o sistema agora instituído permite a interacção entre a Autoridade Nacional dos Resíduos e as entidades registadas, de forma a garantir maior facilidade no registo, no tratamento dos dados e na optimização dos procedimentos de carregamento e validação da informação, bem como a disponibilização ao público de informação actualizada sobre o sector.

Este procedimento poderá possibilitar uma maior consciencialização do problema, que complementado com o estudo aprofundado da viabilidade de cada opção de destino final resultará na minimização dos custos e impactes inerentes à produção do resíduo em causa.

7. Conclusões

Atendendo à análise efectuada na presente dissertação, foi possível estabelecer abordagens que poderão otimizar a gestão de lamas produzidas em Portugal Continental.

Constatou-se ao longo deste trabalho que é de extrema importância que os actores intervenientes neste processo desenvolvam a sua actividade criando modelos de acção que tenham como objectivo tornar o tratamento de águas residuais sustentável, isto é, acautelando não apenas a qualidade do fluxo líquido, mas também da fase sólida, por forma a assegurar a sustentabilidade do seu destino final.

A valorização agrícola é considerada como a alternativa mais favorável de destino final para as lamas provenientes de ETAR, sempre que se cumpram os requisitos exigidos pela legislação em vigor e a viabilidade económica seja assegurada.

A aplicação de lamas devidamente tratadas em terrenos agrícolas permite a melhoria das características do solo, bem como o fornecimento de substâncias essenciais para o crescimento das culturas, possibilitando a redução do consumo de fertilizantes.

Tendo presente a disponibilidade do território nacional em SAU, concluiu-se que há um défice de gestão do resíduo lamas, pelo que se sugere a criação de uma entidade nacional com capacidade de regulação do mercado que se viesse a materializar.

Adicionalmente, concluiu-se que, quando esgotadas as possibilidades de utilização agrícola das lamas, é desejável que se proceda à sua eliminação higiénica por incineração, minimizando assim eventuais problemas de ambiente, com consequências para a saúde pública.

8. Perspectiva de Trabalho Futuro

Na sequência da análise efetuada nesta dissertação, surge a perspectiva de desenvolvimento de alguns trabalhos no âmbito da problemática da gestão de lamas.

Considera-se relevante, desde logo, realizar estudos que permitam dispor de informação apropriada relativamente à realidade actual de produção e destino final de lamas, a qual é essencial para a análise do problema.

Por outro lado, importaria promover o desenvolvimento de indicadores de qualidade de lamas, já que se trata de um parâmetro fundamental para a sua gestão.

Com base nos estudos referidos, materializar-se-ia a possibilidade de desenvolver modelos de gestão que relacionassem a produção, e respectiva qualidade, com os destinos finais possíveis.

A montante das iniciativas referidas, admite-se que é de extrema importância o investimento em mecanismos mais eficientes, que se traduzam numa redução de produção de lamas.

9. Referências Bibliográficas

Agroges, Sociedade de Estudos e Projectos – Valorização Agrícola de Lamas de ETAR, 2ª Conferência Nacional da Água, 2007

Antas, A.; Bau, J.; Catarino, L. - Gestão de Lamas de ETA e ETAR, Lisboa, 2002

Carvalho, M. – Gestão de Lamas de ETAR, Resíduos – Novas Estratégias de Gestão, Lisboa, Março de 2007

Carvalho, M.; Antas, A. – Valorização Agrícola de Lamas de ETAR – Potencial dos Solos Portugueses, 2002

Carvalho, M.A.C.S. – Produção, Tratamento e Deposição Final de Lamas de Estações de Tratamento de Águas Residuais, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2002

Castanheira, E.G., Fernandes, P., Ferreira, C.M. – Compostagem de lamas mistas: caso de estudo para a ETAR de Coimbra, Jornadas de resíduos, Escola Superior Agrária de Coimbra, Coimbra, 13 pp, 2004

Daughton, C. G.; Ternes, T. A. - Pharmaceuticals and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change Environ. Health Perspect., 107, 907-938, 1999

Decreto-Lei n.º 118/06 de 21 de Junho de 2006

Decreto-Lei nº 152/97, de 19 de Junho de 1997

Decreto-Lei nº 178/06, de 5 de Setembro de 2006

Decreto-Lei nº 235/97, de 3 de Setembro de 1997

Dias, J.C.S. - Guia de Boas Práticas - Aplicação de Lamas da Agricultura, Reciclamas – Multigestão Ambiental, S.A., Agosto 2004

Dias, S.M., Silva, R.B., Barreiro, F., Costa, M. – Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental, Estudos Base, Instituto Superior Técnico, CEBQ – Centro de Engenharia Biológica e Química, 2006

Endo, H., Nagayoshi, Y. and Suzuki, K. - Production of glass ceramics from sewage sludge. Water Science Technology, 36, 11, pp.235-241, 1997

Estatísticas Agrícolas 2006, Instituto Nacional de Estatística, ISBN 978-972-673-932-4, Lisboa, 2007

Farinha, J. – Eliminação e Destino Final de Lamas de Estações de Tratamento, Degrémont SUEZ, ExpoÁgua, Outubro de 2007

Farinha, J. – Secagem Térmica de Lamas de ETAR, Incineração e outros processos térmicos de tratamento de lamas, 2002

Fraga, H., Dinis, A., Mota, G. - O desenvolvimento Sustentável na Gestão dos resíduos, Universidade Fernando Pessoa, 2005

Gonçalves, J.; Leitão, J.P.; Carvalho, M.; Saldanha Matos, J. – Produção e Destino Final de Lamas de ETAR em Portugal – Situação actual e perspectiva de evolução, 2005

Gonçalves, M. S., Gestão de Resíduos Orgânicos, SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação, S. A., ISBN 972-8589-48-2, Porto, 2005

Halling-Sorensen, B.; Nielsen, S.N.; Lanzky, P.F.; Ingerslev, F.; Luzhoft, H.C.H.; Jorgensen, S.E. - Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment - A review. Chemosphere, 36, 357-393, 1998

Hammer, M.J.; Hammer, M.J.J. - Water and wastewater technology, 4th ed.; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, 2001.

Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas 2005, Instituto Nacional de Estatística, ISBN 972-673-846-6, Lisboa 2006

Inspecção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território – Avaliação do Desempenho Ambiental das Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas em Portugal Continental

Knudsen, L.; Kristensen, G.H.; Jørgenses, P.E.; Jepsen, S.E. – Reduction of the content of organic micropollutants in digested sludge by a post-aeration – a full-scale demonstration, Water Science and Technology, Vol. 42, No 9, 111-118, 2000

Kolpin, D.W.; Furlong, E.T.; Meyer, M.T.; Thurman, E.M.; Zaugg, S.D.; Barber, L.B.; Buxton, H.T. - Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams 1999-2000: A national reconnaissance. Environ. Sci. Technol., 36, 1202-1211, 2002

Kummerer, K. Resistance in the environment. J. Antimicrob. Chemother., 54, 311-320, 2004

Levlin E. - Resources recovery from incineration ashes, Proceedings of a Polish-Swedish seminar Stockholm August 24, 1999, Report No. 5, Joint Polish - Swedish Reports, TRITA-AMI REPORT 3063, ISBN 91-7170-439-6. pp. 43-53,

Lopes, M.H.; Abelha, P.; Cabrita, I.; Gulyurtlu, I. – Aspectos Ambientais da Valorização Energética de Lamas de ETAR's, Redução da Libertação de Metais Pesados

Lopes, M.H.S.D. – Estudo do Comportamento de Metais Pesados na Combustão de Lamas Residuais Urbanas em Leito Fluidizado, Lisboa, 2002

Mano, A.P. - Condicionamento, DCEA/FCT/UNL, Sistemas de Tratamento de Água e de Efluentes II, 2005/2006

Mano, A.P. - Desidratação, DCEA/FCT/UNL, Sistemas de Tratamento de Água e de Efluentes II, 2005/2006

Mano, A.P. – Remoção de Fósforo por Via Química, DCEA/FCT/UNL, Sistemas de Tratamento de Água e de Efluentes II, 2006/2007

Mano, A.P. – Remoção de Nutrientes por Via Biológica, DCEA/FCT/UNL, Sistemas de Tratamento de Água e de Efluentes II, 2006/2007

Metcalf & Eddy – Wastewater Engineering – Treatment and Reuse, 4rd Edition, McGrawHill, 2003

Metcalf, C.D.; Koenig, B.G.; Bennie, D.T.; Servos, M.; Ternes, T.A.; Hirsh, R. - Occurrence of neutral and acidic drugs in the effluents of Canadian sewage treatment plants. Environ. Toxicol. Chem., 22, 2872-2880, 2003

Moreda, J.M.; Arranz, A.; Fedz de Betono, S.; Cid, A.; Arranz J.F. – Determination of PCB's in Sewage Sludge from Wastewater Treatment Plant, Environmental Technology, 19, 913-921, 1998

Neves, E.B., Aterros Sanitários no Fim de Linha, Resíduos – Novas Estratégias de Gestão, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006

Nomura, K. - Adoption of melting furnace and sludge utilization in Kyoto City, Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, 107, ISBN 3-921 421-36-5, 1998

Odegaard, H., Paulsrud, B., Karlsson, I., - Sludge Disposal Strategies and corresponding Treatment Technologies aimed at Sustainable Handling of Wastewater Sludge, 2008

Omoike, A.I.; Vanloon – Removal of Phosphorus and Organic Matter Removal by Alum during Wastewater Treatment, Wat. Res., 33(17), 3617-3627, 1999

Relatório da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu sobre a Aplicação da Legislação Comunitária Relativa aos Resíduos Directiva 75/442/CEE, relativa aos resíduos, Directiva 91/689/CEE, relativa aos resíduos perigosos, Directiva 75/439/CEE, relativa à eliminação dos óleos usados, Directiva 86/278/CEE, relativa às lamas de depuração, Directiva 94/62/CE, relativa a embalagens e resíduos de embalagens, Directiva 1999/31/CE, relativa à deposição de resíduos em aterros, para o período de 2001-2003, Comissão das Comunidades Europeias, Bruxelas, 2006

Rodrigues, J.P., - Implementação da ENRRUBDA no Universo EGF, Resíduos – Novas Estratégias de Gestão, Lisboa, Março de 2007

Rogers, H.R. – Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges, The Science of the Total Environment, 185, 3-26, 1996

Sterrit, R.M.; Lester, J.N. – The Value of Sewage Sludge to Agriculture and Effects of the Agricultural Use of Sludge Contaminated with Toxic Elements: A Review, The Science of the Total Environment, 16, 55-90, 1980

Stoveland, S.; Lester, J.N. – A Study of the Factors which Influence Metal Removal in the Activated Sludge Process, The Science of the Total Environment, 16, 37-54, 1980

U.S. EPA – Sludge Treatment and Disposal – Process Design Manual, 1979

Werther, J.; Ogada, T. – Sewage Sludge Combustion, Progress in Energy and Combustion. Science, 25, 55-116, 1999

White, R.; Jobling, S.; Hoare, S.A.; Sumpter, J.P.; Parker, M.G. Environmentally persistent alkylphenolic compounds are estrogenic. Endocrinology, 135, 175-182, 1994

WPCF (Water Pollution Control Federation) – Sludge Thickening – Manual of Practice No FD-1. Facility Development, 1980

Xia, K.; Bhandari, A.; Das, K.; Pillar, G. - Occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in biosolids. J. Environ. Qual., 34, 91-104, 2005

9.1. Referências de Internet:

Europa – O Portal da União Europeia, <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28027.htm>, Maio 2007

<https://bdigital.ufp.pt/dspace/bitstream/123456789/207/1/artigo6.pdf>

Inventário Nacional INSAAR, <http://insaar.inag.pt/>, 2007

Confagri, <http://www.confagri.pt/Ambiente/AreasTematicas/Solo/Documentos/doc102.htm>,
Novembro, 2007

UnitedWater, [http://www.uwi.com.au/rd/publisher/fileUpload/184/attach/Stevens
EtAlAWA2002Water.pdf](http://www.uwi.com.au/rd/publisher/fileUpload/184/attach/StevensEtAlAWA2002Water.pdf), 2007